

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2008

Petra Papšíková

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

**MECHANICKÉ VLASTNOSTI SVAZKŮ VLÁKEN**  
**MECHANICAL CHARACTERISTICS BUNDLES FIBRES**

Liberec 2008

Petra Papšíková



## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 12. května 2008

.....

Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí své diplomové práce doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové a konzultantovi Prof. Ing. Bohuslavovi Neckářovi, DrSc. za cenné rady a připomínky. Děkuji všem pracovníkům z KTT, KTM za pomoc při experimentu.

Dále děkuji celé svojí rodině za duševní a materiální podporu během celého mého studia a bez nichž by tato práce také nevznikla.

## **Anotace:**

Diplomová práce řeší téma mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost) svazků vláken.

Rešeršní část se věnuje vlastnostem jednotlivých vláken a svazků vláken, metodami jejich měření, teoretickými modely a vlivy působící na pevnost a tažnost vláken.

Experimentální část je zaměřena na měření pevnosti a tažnosti jednotlivých vláken a vláknenných svazků (o počtu vláken ve svazku větším než 100) na vybraných textilních materiálech. Na bavlněných vláknech byla provedena tahová zkouška a následně byly porovnány výsledky s vhodnými teoretickými modely. U vláken je hodnocena délka, jemnost, pevnost, tažnost, průměrné tahové křivky a je řešena souvislost mezi využitím pevnosti vláken ve svazku a variabilitou pevnosti či tažnosti vláken.

## **Annotation:**

This diploma thesis describes mechanical characteristics (strength, elongation) of fibre bundles.

Search part of thesis is addressed to characteristics of single fibre and fibre bundles, it means to methods their measuring, theoretically models and influences applied on strenght, elongation of fibres.

Experimental part of thesis is aimed for measuring of stength, elongation of single fibre and fibre bundles (with more than 100 fibres) on choice testile materials. On choice cotton fibres was effected tensile test and sequentially were compared outcomes with choice theoretically models. There are assessed length, fineness, strength, elongation, stress-strain curves of the fibres and is solved connection between utilization of fibre strength in bundle and variability fibre strength and elongation.

**Klíčová slova:**

bavlna – cotton

délka – length

jemnost – fineness

pevnost – strength

tažnost – elongation

vlákno – fibre

## Seznam symbolů:

$a$	tažnost [%]
$d$	průměr vlákna [mm]
$d_e$	ekvivalentní průměr vlákna [mm]
$dt$	přírůstek času [min]
$d\varepsilon$	přírůstek deformace [mm]
$E_f$	modul pružnosti [N/mm]
$E_p$	počáteční modul pružnosti [Pa]
$EL$	tažnost svazku HVI [%]
$f(u_a)$	hustota pravděpodobnosti
$F$	maximální síla [N]
$F_0$	předpětí [N]
$F_r$	poměrná pevnost (relativní) [N]
$F(u_a)$	distribuční funkce
$g$	hmotnost vlákna [g]
$h$	vzdálenost koncových bodů vlákna [mm]
$H$	horní limita
$H(\sigma_s)$	distribuční funkce normálního rozdělení
$l$	délka vlákna po deformaci [mm]
$l_0$	původní délka vlákna před deformací [mm]
$l_v$	délka jednotlivého vlákna [mm]
$l_{sv}$	délka vláken ve svazku [mm]
$l_y$	upínací délka vláken [mm]
$\Delta l$	přírůstek délky po prodloužení [mm]
$L$	dolní limita
$L$	tržná délka [km]
$L_1, L_2$	délka [mm]
$m_v$	hmotnost vláken [g]
$m_{sv}$	hmotnost svazku [g]



$M_i$	jemnost vláken [mic]
$n$	počet vláken ve svazku
$PI$	Pressleyho index
$s$	plocha příčného řezu jednotlivého vlákna [mm <sup>2</sup> ]
$S$	plocha příčného řezu vláken ve svazku [mm <sup>2</sup> ]
$S_{\sigma_v}$	směrodatná odchylka pevnosti vlákna
$SCN$	obsah nečistot [Cnt/g]
$SFC$	podíl krátkých vláken [mm]
$STR$	svazková pevnost HVI [cN/tex]
$t_v$	jemnost vlákna [tex]
$T_{sv}$	jemnost vláken ve svazku [tex]
$u_a$	parametr
$u_i$	užitná vlastnost i-té bavlny
$U^*$	index jakosti
$UI$	index stejnoměrnosti délky HVI [%]
$UHM$	průměrná délka horní poloviny délky vláken [mm]
$UQR$	průměrná hodnota nejdelších vláken [mm]
$UR$	stejnoměrnost staplu
$v_{př.}$	rychlost posuvu příčnicku [mm/min]
$v_c$	rychlost deformace [mm/min]
$v_{\sigma_v}$	variační koeficient střední hodnoty pevnosti vláken
$v_a$	variační koeficient tažnosti vláken
$v_\lambda$	variační koeficient navlnění
$w_i$	váhy při kritériu jakosti
$\alpha_y$	parametr měřítka
$\beta_y$	parametr tvaru rozložení
$\delta_v$	pevnost vlákna [N/tex]
$\delta_{sv}$	poměrná pevnost vlákenného svazku [N/tex]
$\varepsilon$	poměrné prodloužení vlákna v čelistech [mm]
$\varepsilon$	tažnost [%]

$\varepsilon_f$	prodloužení vlákna [mm]
$\phi_{vs}$	využití pevnosti vláken
$\eta_{vs}$	využití tažnosti vláken
$\lambda$	navlnění
$\bar{\lambda}$	střední hodnota navlnění
$\rho$	měrná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma$	parametr lognormálního rozdělení
$\sigma_p$	napětí do přetrhu [Pa]
$\sigma_f$	napětí vlákna
$\bar{\sigma}_s$	střední hodnota pevnosti svazku [N/tex]
$\bar{\sigma}_v$	střední hodnota pevnosti vláken [N/tex]
$\Gamma( )$	gama funkce

## OBSAH:

Anotace.....	6
Klíčová slova.....	7
Seznam symbolů .....	8
Úvod.....	13
1. REŠERŠNÍ ČÁST.....	14
1.1 Morfologie bavlněného vlákna.....	14
1.2 Vlastnosti bavlněného vlákna.....	16
1.2.1 Jemnost.....	16
1.2.2 Zobloučkování (navlnění) vláken.....	16
1.2.3 Mechanické vlastnosti vláken.....	17
1.2.3.1 Tahová křivka.....	17
1.2.3.2 Mez pružnosti.....	18
1.2.3.3 Mez kluzu.....	19
1.2.3.4 Pevnost vláken.....	19
1.2.3.5 Tažnost vláken.....	19
1.2.3.6 Tržná délka.....	20
1.2.4 Vlivy na pevnost a tažnost vláken.....	20
1.2.4.1 Upínací délka.....	20
1.2.4.2 Předpětí.....	20
1.2.4.3 Rychlost deformace.....	21
1.3 Vlastnosti svazku vláken.....	23
1.3.1 Jemnost.....	23
1.3.2 Počet vláken ve svazku.....	23
1.3.3 Pevnost vlákenných svazků.....	24
1.4 Modely pevnosti svazku paralelních vláken.....	25

1.4.1	Využití pevnosti vlákenného svazku vláken podle N. Pana....	25
1.4.2	Pevnost vlákenných svazků podle B. Neckáře.....	28
1.4.3	Vliv navlnění na pevnost.....	29
1.5	Přístroje pro měření vlastností bavlněných vláken.....	31
1.5.1	Jemnost.....	31
1.5.2	Délka vláken.....	33
1.5.3	Pevnost a tažnost vláken.....	34
1.5.3.1	Pressleyho přístroj.....	34
1.5.3.2	AFIS.....	35
1.5.3.3	HVI.....	37
1.6	Klimatické podmínky.....	38
1.7	Komplexní kritérium hodnocení jakosti.....	38
2.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	41
2.1	Vyhodnocení komplexního kritéria jakosti.....	41
2.2	Příprava vlákenných svazků.....	42
2.2.1	Vyčesání a upnutí svazků vláken.....	43
2.2.2	Příprava jednotlivých vláken.....	45
2.3	Klimatické podmínky.....	46
2.4	Měření pevnosti a tažnosti vláken.....	46
2.5	Vyhodnocení pevnosti a tažnosti vláken.....	48
2.6	Využití pevnosti a tažnosti.....	56
2.7	Porovnání naměřených hodnot s HVI.....	60
3.	Závěr.....	63
	Literatura.....	64
	Přílohy .....	66

## Úvod

Bavlna je nejdůležitější ze všech plodin pěstovaných pro výrobu textilního vlákna. Bavlněná vlákna jsou přítomna ve více než 50% dnes vyráběných textilií. Pro řadu zemí třetího světa je nejvýznamnějším vývozním artiklem. Dnes jsou hlavními zeměmi pěstujícími bavlník podle pořadí Čína, Spojené státy, Indie, Pákistán, Uzbekistán, Brazílie, Turecko, Austrálie, Egypt, Mexiko, Súdán. Poslední dobou vzrůstají požadavky na kvalitu a tím také na vlastnosti bavlny. Bavlna je vlákno přírodní, a proto lze její jakostní parametry (délka, pevnost, jemnost, zralost, znečištění) ovlivňovat pouze nepřímo, např. výběrem pěstování odrůdy bavlníku a jejím dalším šlechtěním nebo podmínkami jejího pěstování. Mezi významné vlastnosti rozhodující pro její další zpracování patří délka (stapl), jemnost, pevnost, zralost.

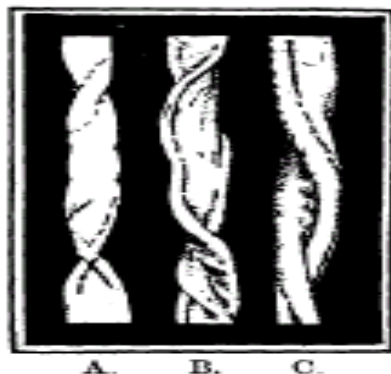
Cílem diplomové práce je řešit mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost) svazků vláken a najít metodu měření svazků vláken.

Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. V rešeršní části je úkolem popsat vlastnosti bavlněných vláken, modely pevnosti svazků paralelních vláken a popsat vlivy působící na pevnost a tažnost vláken. V experimentální části je úkolem provést tahové křivky, porovnat s teoretickými modely, řešit souvislosti mezi využitím pevnosti vláken ve svazku a variabilitou pevnosti či tažnosti vláken.

# 1.REŠERŠNÍ ČÁST

## 1.1 Morfologie bavlněného vlákna

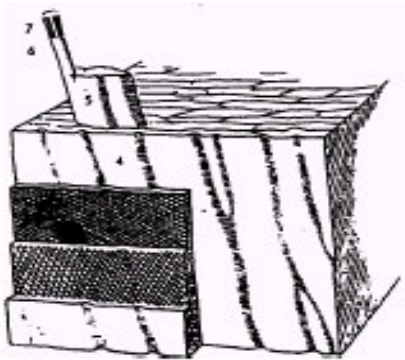
Bavlna jsou jednobuněčná vlákna obrůstající semena bavlníku. Po prasknutí zralých tobolek dochází k vysoušení vlákna. Tvorba silných H-můstků, které již nelze porušit. To má za následek zborcení stěny vlákna a stáčení vláknenné stužky o 180° (konvoluce). Zralost bavlněných vláken (obr.1) ovlivňuje vlastnosti bavlněného vlákna [1].



*Obr.1 Bavlněná vlákna: a) nezralá vlákna, b) částečně zralá, c) zralá vlákna*

Vlákno je tedy tvořeno na obr.3 primární stěnou–kutikulou o tloušťce 0,1  $\mu\text{m}$ , která obsahuje tuky, vosky, pektin, celulózu. Vnitřní–sekundární stěna na obr.2 je soustava prstenců - lamel z mřížkovitě uspořádaných útvarů celulózy. U zralého vlákna dosahuje tloušťky až 4  $\mu\text{m}$ . Celulóza je hlavní stavební prvek vlákna v sekundární stěně. Terciální vrstva na obr.4 - odděluje sekundární stěnu od dutiny–lumenu. Lumen je během růstu vlákna vyplněn protoplasmou, jež zajišťuje výživu vlákna a růst sekundární stěny. Po dozrání a otevření tobolek postupně protoplasma vysychá a lumen obsahuje vzduch a zbytky protoplasmu, vlákna se zplošťují [1].

**W. Kling**



*Obr. 2*

Primární stěna

sekundární stěna

1-vosky, pekt

4-první vrstva

2-vnější fibrilární vrstvy

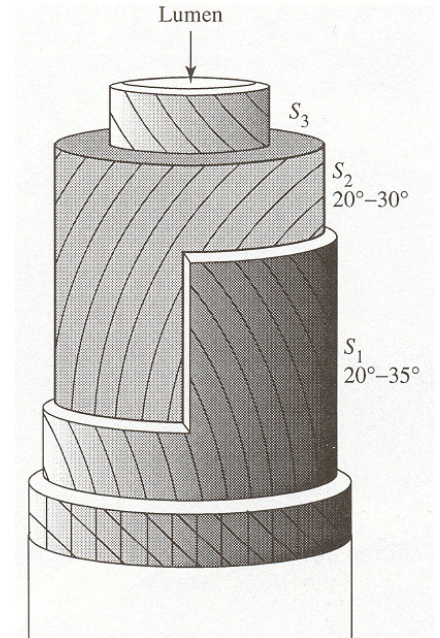
5-fibrilární spirála

3-vnitřní fibrilární vrstvy

6-fibrilární svazek

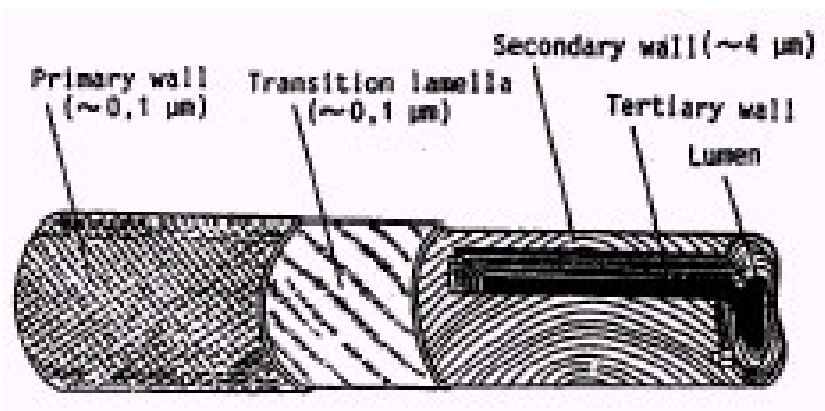
7-fibrila

**Young**



*Obr. 3*

**Bobeth**



*Obr.4*

## 1.2 Vlastnosti bavlněného vlákna

### 1.2.1 Jemnost

Jemnost vláken  $t_v$  [tex] souvisí s dalšími vlastnostmi jako např. velikost povrchu, způsob použití a technologii zpracování. Lze ji charakterizovat délkovou hmotností, jenž lze určit ze vztahu [2]

$$t_v = \frac{m_v}{l_v} = \rho s_v = \rho \frac{\pi d^2}{4} \quad (1.1)$$

kde  $m_v$  je hmotnost vlákna v [g] a  $l_v$  je délka vlákna v [km]. Lze ji také určit ze známé měrné hmotnosti vlákna  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] a plochy příčného řezu  $s_v$  [mm<sup>2</sup>].

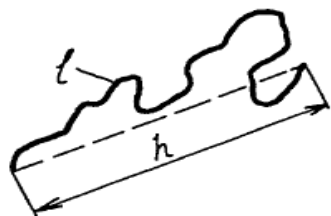
Prostřednictvím plochy příčného řezu vlákna  $s_v$  je definován průměr vlákna  $d$ . Jelikož bavlněné vlákno nemá kruhový průřez, je průměr vlákna  $d$  nahrazen ekvivalentním průměrem  $d_e$  (1.2), který vyjadřuje průměr kruhu jehož plocha je stejná jako plocha příčného řezu vlákna.

$$d_e = \sqrt{\frac{4s_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4t_v}{\pi\rho}} \quad (1.2)$$

Je zřejmé, že při stejné jemnosti  $t$  bude průměr vláken s menší měrnou hmotností (hustotou) větší než průměr vláken s vyšší měrnou hmotností [3].

### 1.2.2 Zobloučkování (navlnění) vláken

Na obr.5 je znázorněn úsek vlákna délky  $l$ , jehož koncové body leží ve vzdálenosti  $h$ . Míru zobloučkování či navlnění lze popsat veličinou [4]:



Obr.5

$$\lambda = \frac{l - h}{h} = \frac{l}{h} - 1 \quad (1.3)$$

Popisuje-li tato veličina celé vlákno, nazývá se zobloučkování. Pokud tato veličina popisuje jen část (úsek) vlákna, bude nazývána navlněním této části vlákna [4].



### 1.2.3 Mechanické vlastnosti vláken

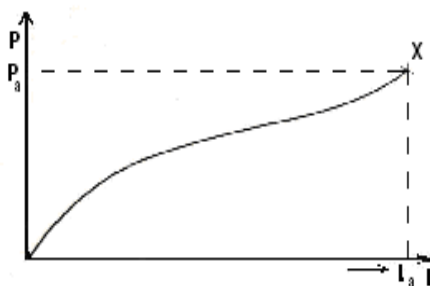
Mechanické vlastnosti vláken se projevují jako odezva na mechanické namáhání vláken prostřednictvím vnějších sil. Podle působení vnějších sil lze hovořit o namáhání na tah, tlak, ohyb a krut.

Tyto druhy namáhání se většinou vyskytují v kombinaci (tah – příčné stlačení u vláken v zakrucované niti). Laboratorně se tato namáhání zkoumají odděleně od sebe, přičemž normovány jsou pouze zkoušky pevnosti v tahu. Během mechanického namáhání dochází ve vláknech ke změně tvaru - deformaci, která je závislá na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání.

Existuje tedy velké spektrum různých způsobů namáhání, které poskytují různé informace o mechanických projevech vláken a přízí. Zpracování a interpretace mechanických experimentů vyžaduje tvorbu modelů charakterizujících minimálně souvislosti mezi deformací, napětím a časem, příp. teplotou [5].

#### 1.2.3.1 Tahová křivka

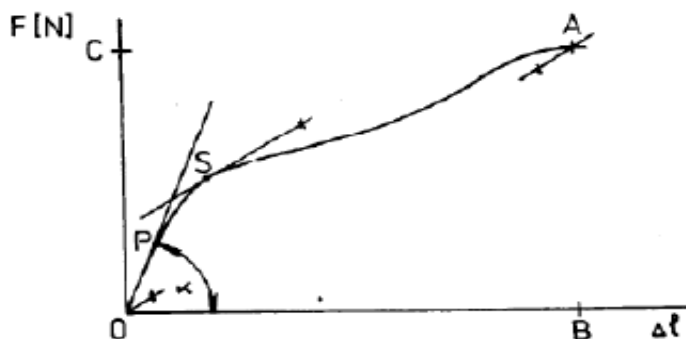
Hodnoty pevnosti a tažnosti jsou základními charakteristikami všech typů vláken. Tyto hodnoty, ale nepopisují dostatečně změny, ke kterým ve vláknech v průběhu tahové zkoušky dochází. Proto je důležité sledovat i průběh a výsledný tvar tahové křivky [6].



*Obr.6 Pracovní křivka*

Namáhání vláken až do přetrhu znázorňuje obecná pracovní křivka (obr.6). Počáteční modul vyjadřuje strmost tahové křivky až do bodu meze pružnosti (obr.7). Modul pružnosti závisí na druhu materiálu, teplotě, době a rychlosti zatěžování. Čím je křivka strmější, tím

větší odpor má vlákno proti deformaci, nebo-li čím menší je modul pružnosti, tím vyšší je tažnost [5].



Obr.7 Deformační křivka

Z křivky jsou patrné některé charakteristické části [5]:

$0$  : počátek

$0 - P$  : oblast pružných (elastických) deformací. Deformace se po uvolnění napětí vrátí.

$P$ : mez pružnosti. Nad tímto bodem se začínají projevovat plastické (nevratné) deformace

$S$ : počátek kluzu

$A$ : maximální síla

$B$ : maximální protažení při přetrhu (destrukci)

### 1.2.3.2 Mez pružnosti

Mez pružnosti je definována jako napětí při kterém ještě nevznikají trvalé (plastické) deformace [7]. Předpokládá se že deformace vznikající až do meze pružnosti jsou elastické, tj. okamžité, časově nezávislé a vratné. Pro pružnou deformaci platí Hookeův zákon:

$$\sigma = E_p \varepsilon \quad (1.4)$$

Ve skutečnosti v každé látce vznikají malé plastické deformace už při nejmenších napětích, a proto neexistuje ostré rozhraní mezi elastickou a plastickou deformací. Z těchto důvodů není možné mez pružnosti experimentálně stanovit. Proto je tato mez definována

jako napětí, které způsobí trvalou deformaci určité minimální velikosti (např. 0,005% nebo 0,01%) [7].

### 1.2.3.3 Mez kluzu

Udává nejmenší hodnotu aplikovaného napětí, od kterého začíná výrazná plastická (tj. nevratná) deformace [7].

### 1.2.3.4 Pevnost vláken

Pevnost vyjadřuje maximální napětí, to znamená sílu, která při daném způsobu namáhání vlákno přetrhne. Obvykle se vyjadřuje v [N].

Poměrná pevnost je poměr tržné síly vlákna k její jemnosti, vyjadřuje se v [N/tex] [8].

$$F_r = \frac{F}{t} = \frac{F}{s\rho} \quad [\text{N/tex}] \quad (1.5)$$

### 1.2.3.5 Tažnost vláken

Tažnost vyjadřuje přírůstek délky (při daném způsobu namáhání) v [%] původní délky vlákna při přetržení [9]. Tažností se tedy rozumí celkové poměrné prodloužení při přetržení, kterou vyjádříme podle vztahu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (1.6)$$

### 1.2.3.6 Tržná délka

Pro vlákna je charakteristické stanovení tržné délky, která vyjadřuje délku vlákna, při níž by se vlákno přetrhlo vlastní vahou. Přetrh nastane za podmínky, že vlastní tíha vlákna se bude rovnat jeho absolutní pevnosti [5].

$$L = \frac{F \cdot 10^3}{g \cdot t} = \frac{F}{t} 10^2 \quad [\text{km}] \quad (1.7)$$

za předpokladu dosazení  $g \approx 10 \text{ m/s}$

Povšimněme si, že tržná délka v [km] je jen jiným vyjádřením poměrné pevnosti  $f = F/t \text{ [N.tex}^{-1}\text{]}$ .

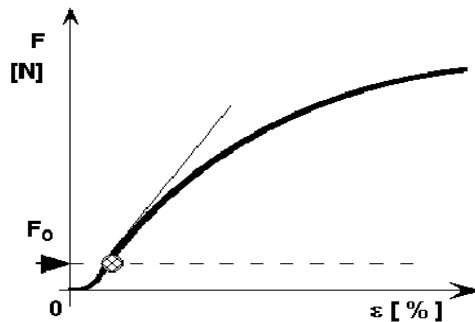
## 1.2.4 Vlivy na pevnost a tažnost vláken

### 1.2.4.1 Upínací délka

K přetrhu jakéhokoli materiálu dochází vždy v nejslabším místě. Trháme-li malý úsek, je pravděpodobnost, že se zde vyskytne slabé místo malá, oproti případu, kdy se trhá dlouhý úsek [10]. To znamená, že pevnost téhož materiálu bude při malé upínací délce pravděpodobně větší, než pevnost zjišťovaná na větší upínací délce. Směrodatná odchylka pevnosti bude menší. Výskyt a rozmístění slabých, nepevných míst je náhodné [4].

### 1.2.4.2 Předpětí

V počátku tahové křivky nevzrůstá síla, resp. napětí lineárně s deformací, neboť se zde projevuje zakřivení způsobené tím, že se uvnitř útvaru vyrovnávají vnitřní síly. Vyrovnává se zvlnění vláken, proklouzávají po sobě volné konce vláken atd. Pro přesné stanovení deformace, která je závislá na změně délky a počátečního tangentového modulu se vkládá před měřením pevnosti na vlákno předběžná síla  $F_0$ , která se nazývá předpětí [10] (obr.8). Velikost předpětí je stanovena normou [11]. Přístroj nejprve materiál zatíží na určenou hodnotu a teprve pak začne měřit.



Obr.8 Předpětí

### 1.2.4.3 Rychlost deformace

Rychlost deformace  $v_\varepsilon$  [1/min] vyjadřuje přírůstek deformace za jednotku času.

$$v_\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1.8)$$

Rychlost posuvu příčnicku  $v_{př.}$  [mm/min] vyjadřuje přírůstek prodloužení za jednotku času.

$$v_{př.} = \frac{d\Delta l}{dt} \quad (1.9)$$

Po dosazení vztahu (1.6) do (1.8) platí:

$$v_\varepsilon = \frac{d\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)}{dt} = \frac{d\Delta l}{l_0 dt} = \frac{v_{př.}}{l_0} \quad (1.10)$$

Z uvedeného vztahu je vidět, že rychlost deformace závisí na rychlosti posuvu příčnicku a na upínací délce.

Princip konstantního přírůstku deformace je v současné době uplatňován u všech moderních trhacích přístrojů (dynamometrů). Důvodem je konstrukce měřících členů síly a deformace, které mohou pracovat na kapacitním nebo indukčním principu, možnost převodu elektrického analogového signálu na digitální a tím spojení přístroje s výpočetní technikou [10].

Rychlost deformace má na výsledky měření pevnosti v tahu a tažnosti zásadní vliv. Např. pro zatěžování vláken platí, že čím rychleji ji budeme zatěžovat, tím méně času bude mít na přeskupení vnitřních sil tvořených např. třením mezi vlákny. S rostoucí rychlostí zatěžování roste úroveň pevnosti a klesá tažnost, to vidíme na obr. 9 [10].

V pracích [12]-[13] je sledován vliv rychlosti deformace na relativní pevnost. Ve všech těchto pracích se vychází z modelu, který vyjadřuje závislost pevnosti na rychlosti deformace. Pro sestavení modelu platí tyto předpoklady [14]:

Platí Hookeův zákon pro vztah mezi aplikovaným statickým nebo dynamickým napětím a prodloužením.

$$\begin{aligned}\sigma_f^s &= E_f^s \varepsilon_f^s \\ \sigma_f^d &= E_f^d \varepsilon_f^s\end{aligned}\tag{1.11}$$

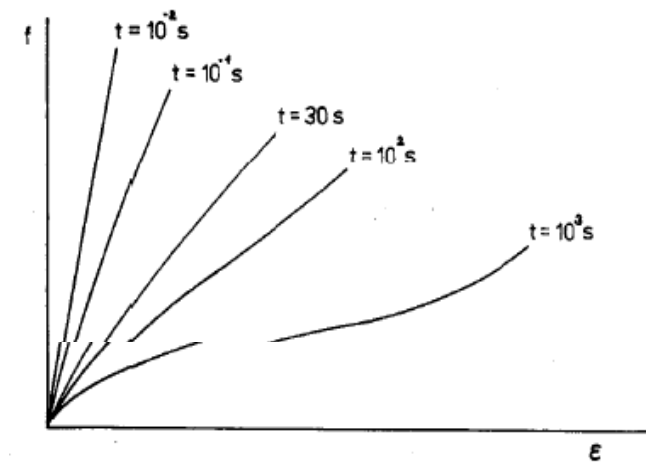
Kde  $E_f$  je modul pružnosti,  $\sigma_f$ ,  $\varepsilon_f$  napětí a prodloužení vlákna. Index  $f$  značí vlákno,  $s$  a  $d$  statické a dynamické zatížení. Dynamický modul pružnosti a prodloužení vlákna při dynamickém zatížení popisují následující formulace

$$\frac{E_f^d}{E_f^0} = 1 + f\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\tag{1.12}$$

$$\frac{\varepsilon_f^d}{\varepsilon_f^0} = 1 + \lambda\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\tag{1.13}$$

Kde  $v_\varepsilon$  je vstupní rychlost deformace,  $E_f^0$  a  $\varepsilon_f^0$  modul pružnosti a prodloužení vlákna při působení rychlosti deformace  $v_{\varepsilon 0}$ .  $f(v_\varepsilon / v_{\varepsilon 0})$  a  $\lambda(v_\varepsilon / v_{\varepsilon 0})$  jsou definované jako funkce závislosti rychlosti deformace.

$$\sigma_f^d = \left[1 + f\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\right] \left[1 + \lambda\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right)\right] \sigma_f^0\tag{1.14}$$



Obr.9 Závislost pevnosti a tažnosti na rychlosti deformace

## 1.3 Vlastnosti svazku vláken

### 1.3.1 Jemnost

Jemnost svazku vláken vyjadřuje vztah mezi hmotností svazku vláken  $m_{sv}$  a jeho délkou  $l_{sv}$  nebo plochou příčného řezu vláken  $S$  s měrnou hmotností (hustotou)  $\rho$  daného vlákna. Pro vyjádření jemnosti používáme soustavy tex [2].

$$T_{sv} = \frac{m_{sv}}{l_{sv}} = S \cdot \rho \quad (1.15)$$

### 1.3.2 Počet vláken ve svazku

Počet rovnoběžných vláken ve svazku je poměrem jemností svazku  $T_{sv}$  ku jemnosti jednotlivých vláken  $t_v$ .

$$n = \frac{T_{sv}}{t_v} \quad (1.16)$$

### 1.3.3 Pevnost vláknenných svazků

Pro zjednodušení je uvažován svazek geometricky stejných paralelních vláken. Pokud by tato vlákna byla naprosto totožná z ohledu chemické struktury, geometrické i mechanické stránky a praskla všechna najednou, bylo by napětí svazku při přetrhu stejné jako napětí libovolného vlákna. V praxi je ovšem nemožné zajistit všechny tyto předpoklady. Při přetrhu tedy dochází k postupnému praskání vláken od těch nejslabších (vlákna s největšími defekty). Přenášené napětí se potom rovnoměrně rozdělí mezi zbylá vlákna [4].

#### *Princip nejslabšího článku*

Díky nahodilé struktuře molekul má pevnost statistický náhodný charakter. Statistická teorie pevnosti je založena především na tzv. principu nejslabšího článku. Tzn., že pevnost vlákna nezávisí na počtu poškozených míst, ale na nejnebezpečnějším poškození, které se v namáhaném vzorku vyskytuje [15]. Tímto kritickým poškozením může být např. trhлина, zúžení vlákna.

#### *Statistickou teorii pevnosti lze shrnout do několika základních bodů*

- v různých vzorcích téhož materiálu, připravených stejnou technologií, se vyskytují poškození s rozdílným stupněm nebezpečnosti
- nebezpečnost defektu roste s jeho velikostí - čím je větší velikost defektu, tím menší je pravděpodobnost jeho výskytu
- čím větší je objem vzorku, tím vyšší je pravděpodobnost výskytu nebezpečného defektu (tzv. rozměrový efekt)
- pevnost je určena nejnebezpečnějším defektem



## 1.4 Modely pevnosti svazku paralelních vláken

Pro modelování pevnosti svazku paralelních vláken se využívají pravděpodobnostní modely, kde pevnost a tažnost svazku jsou náhodné veličiny, které jsou popsány normálním, Weibullovým či jiným rozložením.

### 1.4.1 Využití pevnosti vlákenného svazku podle N.Pana

Poměrná pevnost vlákenného svazku  $\delta_{sv}$  je často zjednodušeně vyjadřovaná jako součin pevnosti vlákna  $\delta_v$  a využití pevnosti svazku  $\Phi_{vs}$  [16].

$$\delta_{sv} = \delta_v \phi_{vs} \quad (1.17)$$

Dle prací Pana [17], [18] je rozložení pevnosti vláken popsáno dvou-parametrickým Weibullovým rozložením, kde  $l_y$  [mm] je délka vláken v čelistech (upínací délka),  $\sigma_v$  je pevnost vláken,  $\alpha_y$  je parametr měřítka a  $\beta_y$  je parametr tvaru rozložení. Pro distribuční funkci platí:

$$F(\sigma) = 1 - \exp\left(-l_y \alpha_y \beta_y \sigma^{\beta_y}\right) \quad (1.18)$$

Střední hodnota pevnosti vláken  $\overline{\sigma_v}$  a směrodatná odchylka pevnosti  $s_{\overline{\sigma_v}}$  jsou definovány vztahy

$$\overline{\sigma_v} = (l_y \alpha_y)^{\frac{1}{\beta_y}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right) \quad (1.19)$$

$$s_{\overline{\sigma_v}} = \overline{\sigma_v} \left[ \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.20)$$

kde  $\Gamma()$  je gama funkce. Pro velké svazky odvodil Daniels (počet vláken ve svazku  $n > 100$ ), že pevnost svazku  $\sigma_s$  může být aproximována normálním rozdělením

$$H(\sigma_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_{\sigma_s}} \exp\left[-\frac{(\sigma_s - \overline{\sigma_s})^2}{2S_{\sigma_s}^2}\right] \quad (1.21)$$

Střední hodnota pevnosti svazku vláken  $\overline{\sigma_s}$  je rovna

$$\overline{\sigma_s} = (l_y \alpha_y \beta_y)^{\frac{1}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) \quad (1.22)$$

a směrodatná odchylka pevnosti svazku vláken  $s_{\sigma_s}$  je

$$s_{\sigma_s} = (l_y \alpha_y \beta_y)^{-\frac{2}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right)\right) n^{-1} \quad (1.23)$$

V práci [19] je navržen iterační postup pro určení parametru  $\beta_y$

$$\overline{\delta_y} \left( \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} - s_{\overline{\delta_y}} = 0 \quad (1.24)$$

Na základě známé střední hodnoty pevnosti vláken a směrodatné odchylky pevnosti vláken lze určit parametry  $\alpha_y$  a  $\beta_y$  Weibullova rozložení a vypočítat pevnost vláken ve svazku a směrodatnou odchylku pevnosti svazku.

V práci [16] je na základě Pana odvozen aproximační vztah pro využití pevnosti vláken

$$\phi_{vs} = \frac{\overline{\sigma_s}}{\sigma_v} = (\beta_y)^{\frac{1}{\beta_y}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_y}\right) / \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right) \quad (1.25)$$

Tento vztah ukazuje, že využití pevnosti vláken ve svazku závisí pouze na parametru  $\beta_y$ .

Variační koeficient pevnosti vláken lze vyjádřit jako podíl směrodatné odchylky (1.20) a střední hodnoty pevnosti vláken (1.19)

$$v_{\sigma_v} = \frac{s_{\sigma_v}}{\sigma_v} = \left[ \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_y}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_y}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.26)$$

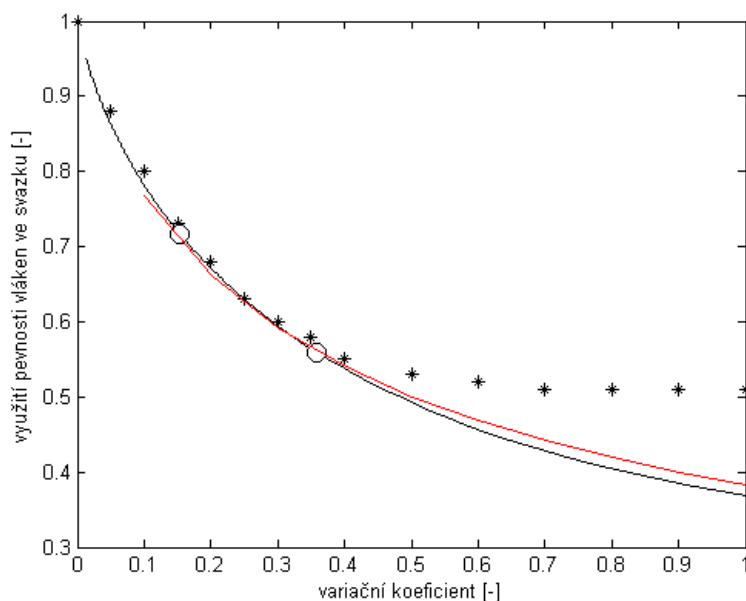
Variační koeficient je také funkcí pouze parametru tvaru  $\beta_y$

$$\frac{1}{v_{\sigma_v}} \approx 0,909 \beta_y \quad (1.27)$$

Po dosazení do vztahu (1.25) vyjde aproximační vztah kde  $u=0,909 v_{\sigma_v}$

$$\phi_{vs} = \left(\frac{1}{u}\right)^{-u} \exp(-u) / \Gamma(1+u) = u^u \exp(-u) / \Gamma(1+u) \quad (1.28)$$

Ze vztahu je vidět, že  $\Phi_{vs}$  závisí pouze na variačním koeficientu pevnosti.



Obr.10 Využití pevnosti vláken ve svazku v závislosti na variačním koeficientu pevnosti vláken: černá čára (PAN), červená čára aproximace, černé body (Neckář), černé kroužky bavlna 35% PES 15%.

### 1.4.2 Pevnost vláknenných svazků podle B. Neckáře

Neckář [4] odvodil, že využití pevnosti a tažnosti svazku vláken závisí pouze na variačním koeficientu tažnosti za předpokladu [11]:

- tahové pracovní křivky jsou hladké monotónně rostoucí, jsou podobné a nahrazuje je vzorová tahová křivka, která je hladká monotónně rostoucí procházející počátkem a bodem střední pevnosti a tažnosti,
- platí předpoklad napětíové podrobnosti a předpoklad souměrných pevností – body přetrhů jsou rovnoměrně rozptýleny nad a pod vzorovou tahovou pracovní křivkou,
- platí předpoklad normálního rozložení pevností vláken.

Pro využití pevnosti vláken ve svazku  $\Phi_{vs}$  a využití tažnosti vláken ve svazku  $\eta_{vs}$  je odvozeno

$$\eta_{vs} = u_a v_a + 1, \Phi_{vs} = u_a v_a + 1[1 - F(u_a)] \quad (1.29)$$

kde  $v_a$  je variační koeficient tažnosti vláken. Parametr  $u_a$  lze určit z rovnice

$$\frac{v_a}{u_a v_a + 1} \frac{1 - F(u_a)}{f(u_a)} = 1 \quad (1.30)$$

kde  $f(u_a)$  je hustota pravděpodobnosti a  $F(u_a)$  je distribuční funkce normálního rozdělení.

Na obr.10 je vidět, že Panova teorie a Neckářova vychází s malým rozdílem stejně. V prvním případě je pevnost svazku funkcí  $v_p$  a ve druhém případě je funkcí  $v_\varepsilon$ . Za předpokladu lineární tahové křivky platí  $\sigma = k\varepsilon$ :

$$v_\sigma = v_\varepsilon \quad (1.31)$$

### 1.4.3 Vliv navlnění na pevnost

Neckář [20] odvodil pro svazek vytvořený velkým počtem  $N$  paralelních vláken tyto předpoklady:

- tahová pracovní křivka každého vlákna je stejná, každé vlákno má stejnou pevnost  $P$  a tažnost  $a$ ,
- vlákna mají různé hodnoty navlnění,
- tahová pracovní křivka (jednoho každého) vlákna je lineární,
- platí předpoklad lognormálního rozložení navlnění.

Pro lognormální rozložení je odvozena hustota pravděpodobnosti (obr.11):

$$f(\lambda) = \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln \lambda - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \lambda \in (0, \infty) \quad (1.32)$$

kde hodnoty  $\mu$ ,  $\sigma$  jsou zvolené kladné parametry tohoto rozložení. Pro střední hodnotu a variační koeficient náhodné proměnné  $\lambda$  platí následující vztahy:

$$\bar{\lambda} = e^{\frac{\mu + \sigma^2}{2}}, \quad v_{\lambda} = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \quad (1.33)$$

Známe-li střední hodnotu a variační koeficient navlnění  $\lambda$ , lze z rovnic (1.33) vypočítat hodnoty parametrů  $\mu$  a  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\ln(v_{\lambda}^2 + 1)} \quad (1.34)$$

$$\mu = \ln \frac{\bar{\lambda}}{\sqrt{v_{\lambda}^2 + 1}} \quad (1.35)$$

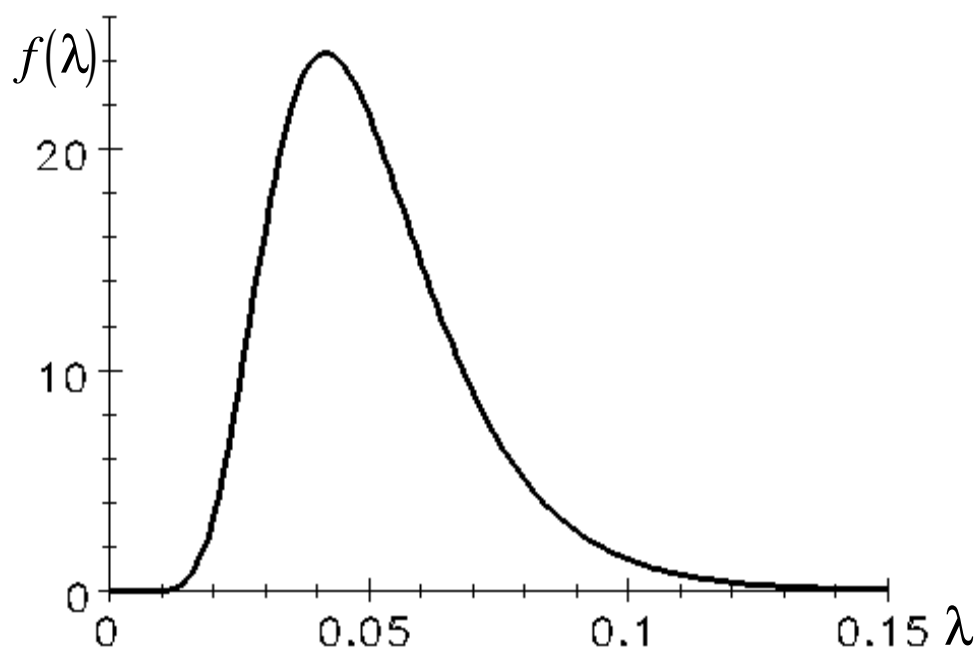
Z odvozených rovnic [20] a (1.32), (1.34), (1.35) dostaneme využití pevnosti vláken ve svazku  $\phi_{vs}$ :

1. případ  $\varepsilon \leq a$  (žádné vlákno není přetrženo)

$$\phi = \frac{1}{a} \int_0^{\varepsilon} \frac{\varepsilon - \lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln \lambda - \mu)^2}{2\sigma^2}} d\lambda \quad (1.36)$$

2. případ  $\varepsilon > a$  (některá, málo navlněná vlákna jsou přetržena)

$$\phi = \int_{\frac{\varepsilon - a}{1 + a}}^{\varepsilon} \frac{\varepsilon - \lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln \lambda - \mu)^2}{2\sigma^2}} d\lambda \quad (1.37)$$



Obr.11 Graf hustoty pravděpodobnosti logaritmicko-normálního rozložení

## 1.5 Přístroje pro měření vlastností bavlněných vláken

### 1.5.1 Jemnost

K zjišťování jemnosti vláken se používají různé metody. Patří sem např. metoda gravimetrická [21].

▪ Gravimetrická metoda: - spočívá v přesném odměření délky vlákna a jeho zvážení. Protože odměřování jednotlivých vláken a jejich vážení klade abnormální nároky na citlivost měřicí metody, odřezává se ze snopku vláken přesně stanovená délka, odříznutý snopek se přesně zváží a poté se spočítá počet vláken v odříznutém snopku.

$$t_{sv} = \frac{m_{sv}}{n_v l_{sv}}, \quad (1.38)$$

kde  $m_{sv}$  je hmotnost svazku vláken v [mg],  $n_v$  je počet vláken ve svazku a  $l_{sv}$  je délka jednotlivých vláken ve svazku v [mm]. Poté se vypočítá průměrná délková jemnost vláken  $t_v$  [dtex]. Podmínky pro zjišťování jemnosti touto metodou jsou uvedeny v normě [21].

▪ Metoda rezonanční - vibroskopická je založena na vystavení jednotlivých vláken o stanovené délce a stanoveném napětí vibracím při rezonanční frekvenci. Délková hmotnost jednotlivých vláken se poté stanoví z podmínek rezonančního stavu (z rezonanční frekvence, délky vlákna a napínací síly). Výsledná jemnost vlákna se odečte přímo ze stupnice vibroskopu. Výběr vzorků a způsob měření je uveden v normě [21]. Metoda je rychlá, přístroj se snadno obsluhuje, výsledek zkoušky je přímo v [dtex], vlákno podrobené zkoušce se může podrobit dalším testům, např. stanovení pevnosti a tažnosti na vibrodynu. Dá se použít pro vlákna delší než 20 mm. Nevýhodou je, že není vhodná pro měření bavlny, neboť je založena na principu měření vlastních kmitů pružné struny, u které se předpokládá, že má homogenní tvar válce s kruhovým průřezem (bavlněné vlákno toto nesplňuje). [21]

▪ Metoda pneumatická je založena na stanovení odporu vločky vláken o určité hmotnosti umístěné v uzavřeném válci proti pronikání proudu vzduchu. Nejznámějším přístrojem pro měření jemnosti bavlněných vláken je přístroj MICRONAIRE. Princip měření (dle normy [17]) spočívá v uzavření chomáčku neorientovaných vláken o stanovené hmotnosti (cca 5g) do válce s perforovaným dnem. Tímto vzorkem se nechá procházet vzduch při odpovídajícím tlaku. Při ustálení měřidla průtoku vzduchu se výsledná propustnost v mikronérní hodnotě <sup>1)</sup> odečte přímo na stupnici přístroje. Dle rovnice (1.39) se dá tato jemnost přepočítat na jemnost v [dtex]:

$$t_v = M_i \frac{1}{2,54}, \quad (1.39)$$

kde  $M_i$  je jemnost vláken v micronairech a  $\frac{1}{2,54}$  vyjadřuje převodní konstantu. [22,23]



Aby nedošlo ke zkreslení výsledků, je třeba z testovaného vzorku odstranit případné příměsi (semena, písek, kousky stonků, u recyklovaných vláken nerozvolněné kousky přízí a jiných nečistot).

▪ Obrazová analýza Lucie pracuje s příčnými řezy vláken nebo přízí, jejichž doporučený postup tvorby je uveden v normě [24]. Pomocí kamery umístěné na mikroskopu jsou jednotlivé řezy snímány a ukládány do počítače ve formě obrazů. Zpracováním řezů pomocí software je možné získat velikost plochy příčného řezu vlákna a dle rovnice (1.1) dopočítat jemnost, zaplnění, počet vláken v řezu, průměr příze.

1) Ukazatel propustnosti vzduchu určitým množstvím bavlny za stanovených podmínek; vyjadřuje se v tzv. jednotkách mikronérní stupnice (řada bavln, ke kterým jsou na základě mezinárodní dohody přiřazeny mikronérní hodnoty) [22].

### 1.5.2 Délka vláken

K měření lze použít přímou nebo nepřímou metodou. Přímá metoda zahrnuje měření jednotlivých vláken:

- ručně za pomoci sametové podložky a sklíčka se stupnicí (dle normy [26]) – z důvodu časové náročnosti a pracnosti se dnes téměř nepoužívá;
- automaticky (AFIS) – optoelektronické měření vláken napřímených proudem vzduchu.

Nepřímá metoda zjišťuje délku vláken ze souboru vláken (tj. svazků):

- za pomoci jehličkového pole a hřebců;
  - metoda je založena na principu vyčesání vláken na staplovacím přístroji
- optoelektronickým proměřováním třásně (Autosampler, HVI)
  - metoda je založena na principu prosvěcování třásně uchopené v čelistech. Výstupem jsou podle typu použitého zařízení buď pouze hodnoty délek  $L_1$  (má úzký vztah k pevnosti příze) a  $L_2$  (ovlivňuje přetrhovost příze při předení) nebo tím, jak se třásně ve světelném poli pohybuje ve směru délky třásně, načítají se plynule relativní četnosti, jenž se graficky zaznamenají do grafu zvaného fibrogram. Z tohoto grafu je pak možné odečíst i další délky jako průměrnou délku, průměrnou délku horní poloviny délky vláken ( $UHM$ ) a průměrnou

délku nejdelších vláken ( $UQM$ ). Podílem délek  $L_1$  a  $L_2$  lze vypočítat stejnoměrnost staplu  $UR$  (Uniformity Ratio):

$$UR = \frac{L_1}{L_2}, \quad (1.40)$$

kde  $L_1$  odpovídá 50% délky vláken a  $L_2$  je 2,5% délky vláken. [23,25]

### 1.5.3 Pevnost a tažnost vláken

#### 1.5.3.1 Pressleyho přístroj

Malé množství bavlněných vláken se pročeše, urovná do rovnoběžné polohy (paralelizuje) a ve formě tenkého pramínku o šířce asi 6 mm se upne do čelistí přístroje. Čelisti jsou složeny jako pár vedle sebe nebo je mezi ně vkládána vložka o tloušťce 3,2 mm. V případě složených čelistí bez vložky je upínací délka  $l_0 = 0$  mm, v případě instalace vložky je upínací délka  $l_0 = 3,2$  mm. Po umístění vlákenného svazku do čelistí se čelisti uzavřou a utáhnou. To se děje ve speciálním momentovém svěráku, který signalizuje správnou sílu utažení šroubů čelistí. Po vyjmutí čelistí ze svěráku se vlákna vyčnívající ze sevření odříznou. V tomto případě je v čelistech uzavřen vlákenný svazek o délce rovnající se šířce složených čelistí (převážně 11,65 mm). Takto připravené čelisti se vloží do přístroje Pressley Testeru, provede se nivelace přístroje, které zajišťuje sklon páky přístroje  $1,5^\circ$  a provede se přetrh vláken. Přetrh je realizován pojezdem závaží po páce, která při přetrhu klesne a závaží se zastaví. Na páce se v úrovni čelisti přístroje Pressley Tester dráhy závaží odečte síla (pevnost) v librách [lb]. Poté se čelisti vyjmou z přístroje, otevřou se a svazek vláken se zváží na přesných vahách v [mg] [5].

Z obou hodnot se vypočte tzv. **Pressley index PI**:

$$PI = \frac{\text{síla} [lb]}{\text{hmotnost svazku} [mg]} \quad (1.41)$$

$$1 \text{ lb} = 0,453 \text{ kg}$$

Ze znalosti délky a hmotnosti svazku je možno přepočítat  $PI$  na poměrnou pevnost [cN/tex]. Podle vztahů:

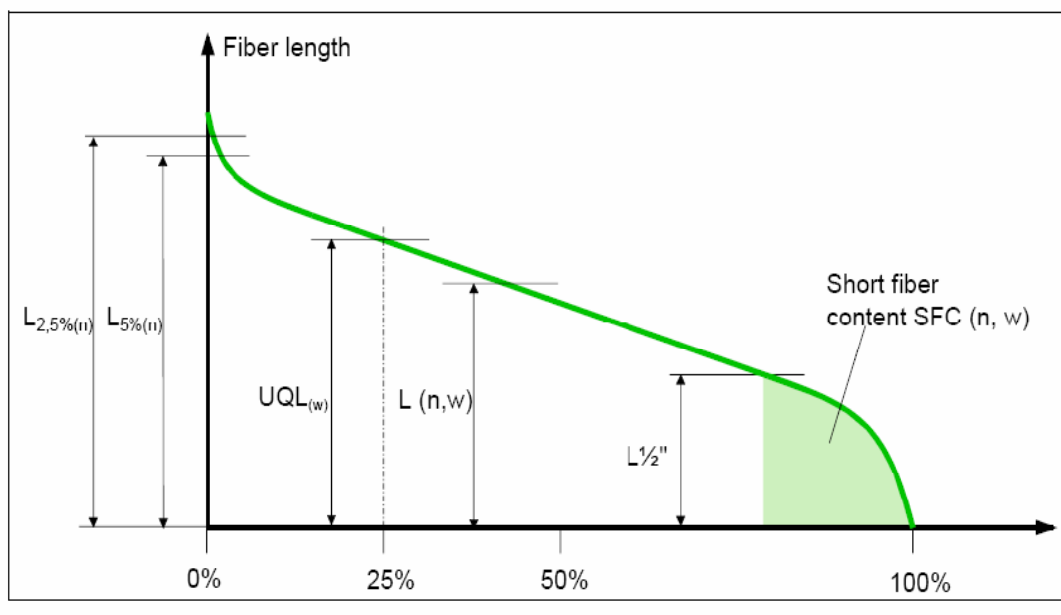
$$\begin{aligned} f &= PI \cdot 36 && (\text{při } l_0=0 \text{ mm}) \\ f &= PI \cdot 80 && (\text{při } l_0=3,2 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Přístroj Pressley Tester je zařazen do metod HVI.

### 1.5.3.2 AFIS

Uster AFIS byl vynalezen pro testování čistoty bavlněných surovin (nopků). Princip měření probíhá za pomoci proudu vzduchu. Vytvořený pramínek z chomáčku vláken o délce cca 31 cm (30-32) a hmotnosti 0,5 g (0,4-0,6) je předkládán vyčesávacímu válečku. Ten z tohoto praménku vyčesává jednotlivá vlákna, která jsou pomocí vzduchu odváděna do vzduchového kanálu, kde dochází k měření těchto vlastností [27]

▪ délka vláken – zaznamenává se průměrná délka vláken zjištěná početním způsobem ( $L(n)$ ) na základě proměření jednotlivých vláken napřímených proudem vzduchu, po automatickém přepočtu je vyjádřena váhovým způsobem ( $L(w)$ ). Tato délka  $L(w)$  je srovnatelná s délkou vláken zjištěnou za pomoci hřebenového třídícího stroje. Nevýhodou je, že je zkreslená, neboť delší vlákna váží více než kratší vlákna. Obecně jakékoliv vypočítané délky jsou citlivější na změny. Proto je pro řízení procesů vhodnější používat délku vláken zjištěnou početním způsobem. Jednotlivé délky se dají zaznamenat do staplového diagramu (obr.12), z kterého je možné odečíst i další délky jako UQL ( $w$ ), L2,5% ( $n$ ), L5% ( $n$ ) a SFC (tj. krátká vlákna), za které se považují ta vlákna, která mají délku kratší než 12,7 m.



Obr.12 Staplový diagram délky vláken

- jemnost – za pomoci známé délky vláken, hmotnosti vzorku a počtu vláken je vypočítána jejich jemnost vyjádřena v [mtex].
- zralost – pomocí optického senzoru generujícího stín a rozptyl jednotlivých vláken je možné určit tvar bavlněného vlákna (zralost je pak vyhodnocena na základě obvodu a příčného řezu vlákna). Obvykle je poskytnuta pouze střední hodnota bavlněného vzorku. Obsah nezralých vláken *IFC* je určen procentem nezralých vláken, která jsou definována jako nezralá, pokud je tloušťka buněčné stěny menší než 25% ze 100% plně zralého vlákna.
- obsah nečistot (nopků) – vyhodnocuje, zda jsou nopky textilního (spletence vláken) nebo netextilního (zbytky semen) původu, zaznamenává se nejen jejich počet [1/g], ale také velikost [ $\mu$  m].

### 1.5.3.3 HVI

Uster HVI dokáže změřit všechny důležité kvalitativní parametry bavlněných surovin [27]:

- délku – průměrnou délku horní poloviny délky vláken UHML [mm], index stejnoměrnosti délky *UI* [-] a index krátkých vláken *SFI* – měření je založeno na optickém principu, ML – střední hodnota délky spodní poloviny váženého staplu
- jemnost v micrairech – vystavení odporu vložky proti pronikání proudu vzduchu (princip přístroje Micronaire).
- barvu – optické měření pomocí filtru, který hodnotu *Rd* (odraznost) a *+b* (žlutost) porovnává podle standardů s USDA<sup>2)</sup> nebo barevným diagramem.
- obsah nečistot – optické měření za pomoci kamery skenující povrch se zaznamenává množství temných skvrn, vyskytujících se na ploše vzorku, výsledek je porovnán se standardy.
- zralost – vyjádřená v procentech, je založena na používání algoritmu založeného na několika HVI měření.
- pevnost a tažnost – pevnost je měřena fyzicky sevřením svazku vláken mezi dva páry čelistí o známé vzdálenosti. Jeden pár je pevně uchycen, druhý je od prvního odtahován konstantní rychlostí až do doby, kdy dojde k přetrhu vláken. Prodloužení je pak vyjádřeno na základě vzdálenosti čelistí po přetržení a před přetrhem.
- vlhkost – provádí se před vlastním testováním za pomoci vodivé vlhkostní sondy, kterou se zjistí obsah vlhkosti v bavlněném vzorku.

Všechny tyto parametry jsou změřeny s nejvyšším stupněm přesnosti a preciznosti.

<sup>2)</sup> Untited States Department of Agriculture

## 1.6. KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Klimatické podmínky ovlivňují výsledky měření mechanických vlastností zásadním způsobem. Vlhkost ovlivňuje pevnost vláken řádově o jednotky až desítky procent. Standardní klimatické podmínky [32] pro přípravu vzorků jsou vlhkost vzduchu  $65 \pm 2[\%]$ , teplota vzduchu  $20 \pm 2 [^{\circ}\text{C}]$ . Teplota se měří teploměry, vlhkost vlhkoměry (psychrometry) popř. hygrometry.

## 1.7 KOMPLEXNÍ KRITÉRIUM HODNOCENÍ JAKOSTI

Z hlediska vlastností je obtížné posoudit, která vlastnost určuje kvalitu bavlny. Kvalita textilních vláken je závislá na způsobu a cílech vyhodnocení a to vláknařů (splnění požadovaných technologických parametrů- jemnost), textiláků (jakost s ohledem na jejich zpracovatelnost a chování při technologických operacích- soudržnost, tření) a uživatelů (projev vlastností v textíliích- omak, tepelné a sorpční projevy).

Optimální vlastnost se posuzuje podle technologie zpracování, jedná-li se o prstencové předení (délka  $\rightarrow$  pevnost  $\rightarrow$  jemnost) a rotorové předení (pevnost  $\rightarrow$  jemnost  $\rightarrow$  délka). Znaky jakosti se vyjadřují tzv. užitnými vlastnostmi, které se dají jednoduše změřit (pevnost, tažnost, navlhavost) nebo jsou přímo neměřitelné (omak, vůně, vzhled).

Na základě přímých a nepřímých měření lze stanovit ukazatele jakosti (průměr, rozptyl, kvantily)  $x_1, \dots, x_m$ . Tyto ukazatele charakterizují vhodným způsobem užitné vlastnosti. Funkční transformace definuje dílčí úroveň jakosti danou vztahem [28]:

$$u_i = f(x_i, L, H), \quad (1.42)$$

kde  $L$  je předepsaná hodnota užitné vlastnosti pro právě nevyhovující bavlnu ( $u_i = 0$ ) a  $H$  pro právě vyhovující bavlnu ( $u_i = 1$ ). Je třeba rozlišovat, zda se jedná o jednostranně ohraničené vlastnosti (obr.13 a), u kterých platí „vyšší je lepší“ (kam patří délka, index stejnoměrnosti, pevnost a tažnost), nebo „nižší je lepší“ (obsah nečistot a množství krátkých vláken), nebo o oboustranně ohraničenou vlastnost (obr.13 b) využívanou při hodnocení

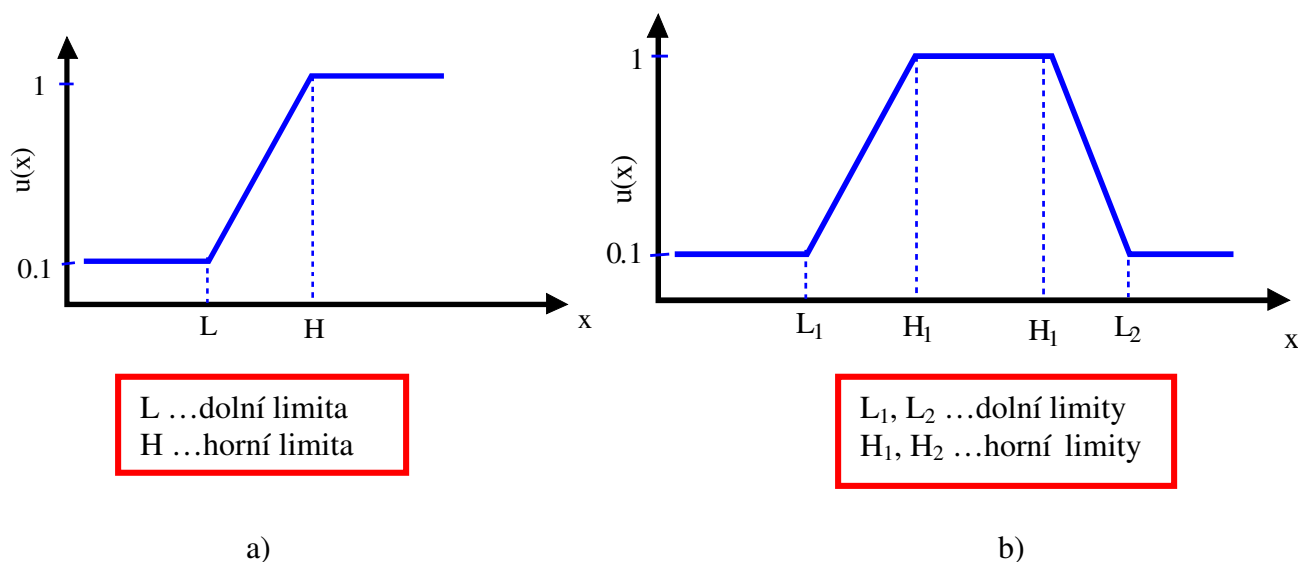
jemnosti. Vyjde-li výsledná sledovaná vlastnost  $x$  mezi dolní a horní limitou, vypočítá se její transformace následujícím způsobem [28]:

$$u(x) = \frac{0,9}{H - L}(x - L) + 0,1 \quad (1.43)$$

Celková úroveň jakosti označovaná jako užitná hodnota produktu, je vyjádřena vhodným váženým obecným průměrem dílčích úrovní [29]

$$u = \text{ave}(u_i, w_i) \quad (1.44)$$

kde  $w_i$  jsou váhy definující význam dané užitné vlastnosti související s účelem použití výrobku.



Obr. 13 Stupeň jakosti vlastností: a) monotónně stoupající, b) oboustranně ohraničená

Protože pro nulové  $u_i$  vychází  $u = 0$ , je výsledný index jakosti  $U^*$  vyjádřen váženým geometrickým průměrem  $u_i$  s váhami  $w_i$  definující význam dané užitné vlastnosti a zároveň související s účelem použití výrobku [28].

$$U^* = \exp\left(\sum_{i=1}^m w_i \ln(u_i)\right) \quad (1.45)$$

V tabulce jsou uvedeny váhy a meze u vybraných vlastností pro rotorově předenou přízi (převzato z [30]).

	<b>w<sub>i</sub></b>	<b>L</b>	<b>H</b>
<b>UI [% ]</b>	0,2	82	86
<b>t<sub>v</sub> [ tex]</b>	0,16	0,150/0,172	0,155/0,180
<b>UQL(w) [mm]</b>	0,14	29	31
<b>Pevnost (vibroskop) [cN/tex]</b>	0,28	29	33
<b>Tažnost (vibroskop) [% ]</b>	0,09	8	10
<b>Podíl krátkých vláken SFC (w) % &lt;12,8 [mm]</b>	0,06	6	9,6
<b>Obsah nečistot SCN [Cnt/g]</b>	0,07	27	15



## 2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentu bylo najít metodu měření pevnosti a tažnosti vlákných svazků. Experimentální výsledky porovnat s vybranými teoretickými modely a stanovit závěr.

Pro experiment byla použita 100%-ní bavlněná vlákna. Hodnoty jemností jednotlivých vláken v tabulce 1 byly převzaty z práce [31].

	Druhy bavln	$t_v$ [tex]	STR [cN/tex]	EL [%]	UHM [mm]	UI [%]	T [tex]
1	EGYPT GIZA	0,153	43,4	5,55	3,505	86,95	15,748
2	UZBEK RI	0,134	31,5	5,7	2,95	84,45	17,913
3	SNS RI	0,182	30,65	6	2,878	84,25	18,582
4	ŘECKO OSKAR	0,165	30,1	5,6	2,95	83,1	17,716
5	VEBA	0,155	33,17	5,45	2,882	82,7	16,141
6	USA 2108	0,143	29,3	7,3	2,8	83,6	14,173
7	USA 2115	0,187	30,2	5,7	2,83	81,9	17,323
8	USA 2121	0,209	26,8	5,7	2,66	82,9	21,259
9	USA 2120	0,172	24,9	6,4	2,67	83,2	19,291
10	STREDASIE	0,123	27,9	5,9	2,82	82,5	12,204

*Tabulka 1*

### 2.1 VYHODNOCENÍ KOMPLEXNÍHO KRITÉRIA JAKOSTI

Komplexní kritérium hodnocení užité jakosti bylo provedeno dle kap. 1.7. Čím vyšší hodnoty, tím lepší jakost bavlny z hlediska pevnosti. Hodnoty  $U^*$  byly vyneseny v grafech vždy na ose  $x$ . Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2:

	<b>Druhy bavln</b>	<b>U*</b>
<b>1</b>	EGYPT GIZA	0,892704
<b>2</b>	UZBEK RI	0,84709
<b>3</b>	SNS RI	0,83613
<b>4</b>	ŘECKO OSKAR	0,786132
<b>5</b>	VEBA	0,772402
<b>6</b>	USA 2108	0,76438
<b>7</b>	USA 2115	0,73973
<b>8</b>	USA 2121	0,60787
<b>9</b>	USA 2120	0,55929
<b>10</b>	STREDASIE	0,48148

*Tabulka 2*

## **2.2 PŘÍPRAVA VLÁKENNÝCH SVAZKŮ**

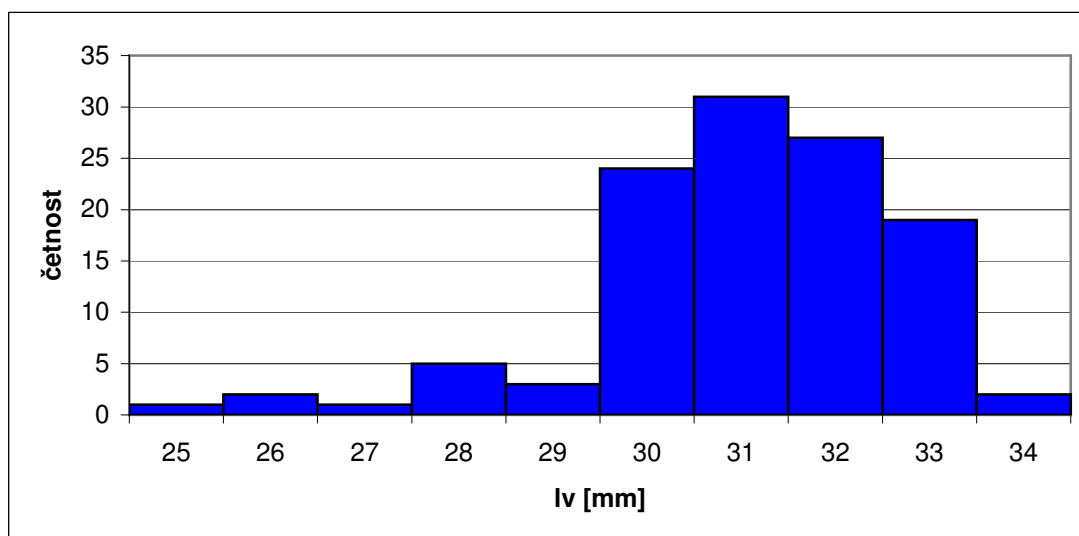
Při přípravě svazků vláken se řešila řada problémů, jak vlákna ve svazku zbavit nečistot, krátkých vláken a jak vlákna ve svazku urovnat. Řešením bylo svazky vláken vyčesat na staplovacím přístroji se dvěma jehličkovými poli. Čím vlákenné svazky upevnit na obou koncích svazků, tak aby všechna vlákna byla upnuta v čelistech a aby si vlákna zachovala své vlastnosti bez vnějších vlivů. Řešením je po různých testovacích zkouškách lepidlo Chemoprén univerzál na pevné spoje a rámeček z papíru o rozměrech 10x10 mm. Pro zkoušku savosti se vyzkoušelo naimpregnovat jednotlivá vlákna a porovnávaly se hodnoty s nenaimpregnovanými vlákny. Hodnoty byly zcela rozličné. Bavlna toto lepidlo nesála.

Odběr vzorků se provedl z vložky a z pramene (veba). Všechny zkušební testy byly provedeny na vybrané bavlně veba č.5 v tabulce 1.

### 2.2.1 Vyčesání a upnutí svazků vláken

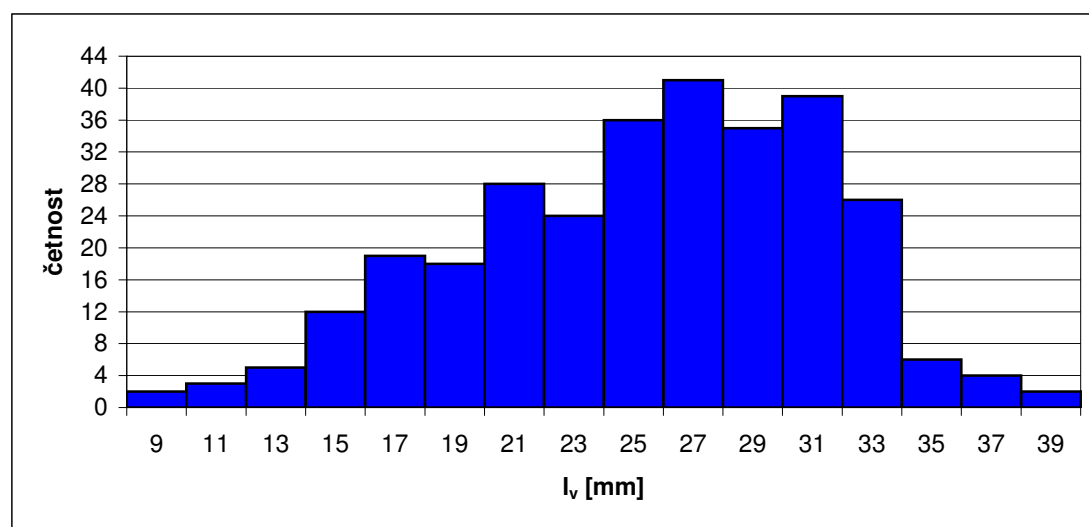
K vyčesání a upnutí svazků vláken bylo potřeba si nejdříve vyrobit dostatečné množství rámečků pro upnutí svazků vláken. Také je nutné zkontrolovat přesnost vah, zvážit a vypočítat si jemnost a počet vláken ve svazku dle vztahu (1.11) pro určité délky svazků vláken jednotlivých druhů bavln.

Z vybrané suroviny se vybere náhodně chomáč vláken, sevře se mezi palcem a ukazovákem obou rukou, a rozdělí se na dvě části. Část v pravé ruce se dá stranou, chomáč v levé ruce se urovná palcem a ukazovákem pravé ruky, přičemž se odstraní vlákna, která levá ruka pevně nedrží. Urovnaný pramének vláken se vloží do dolního jehličkového pole rozevřeného přístroje, horní pole je odklopené (každé pole má 12 hřebenů, rozteč pole je 4 mm, při sklopení hřebenů 2mm). Konec praménku vyčnívá za přední hřeben asi 0,5 cm. Vlákna se uchopí skřipcem za konce ve vzdálenosti asi 2 mm, vytáhnou se a kladou se do odklopeného pole na vnější hřeben. Tímto způsobem se přenesou všechna vlákna do horního pole tak, aby jejich konce byly v jedné přímce za vnější řadou jehel. Vznikne tak snopek vláken ve tvaru klínu. Skřipcem se uchopí vyčnívající snopek vláken a vytáhne se z hřebenů a vloží na dolní jehličkové pole blíž k vnitřní straně řady hřebenů. Odstraní se zbývající vlákna a nečistoty, které zůstaly na horním poli. Dále se překlopí pomocí zástrčky celé horní pole na dolní pole. Postupně se odklápí horní hřebeny vzhůru, spodní dolů, až se objeví konce nejdelších vláken. Ta se vytáhnou a položí na černou sametku. Svazek vláken se na sametce urovná a změří pravítkem jeho délka, která se zapíše do připravené tabulky. Podle změřené délky se určí jemnost, která se předem vypočítala a zváží se svazek vláken. Zvážený svazek vláken se uchopí do ruky, položí na rámeček papíru a nanese se vrstva lepidla na jeden konec svazku vláken a potom na druhý. Zkontroluje se vzorek a nechá se lepidlo odvětrat cca 15-30 min. Vzorek se přeloží na druhou stranu rámečku a krátce silou se stiskne. Takto se připraví potřebné množství pro trhací přístroj.



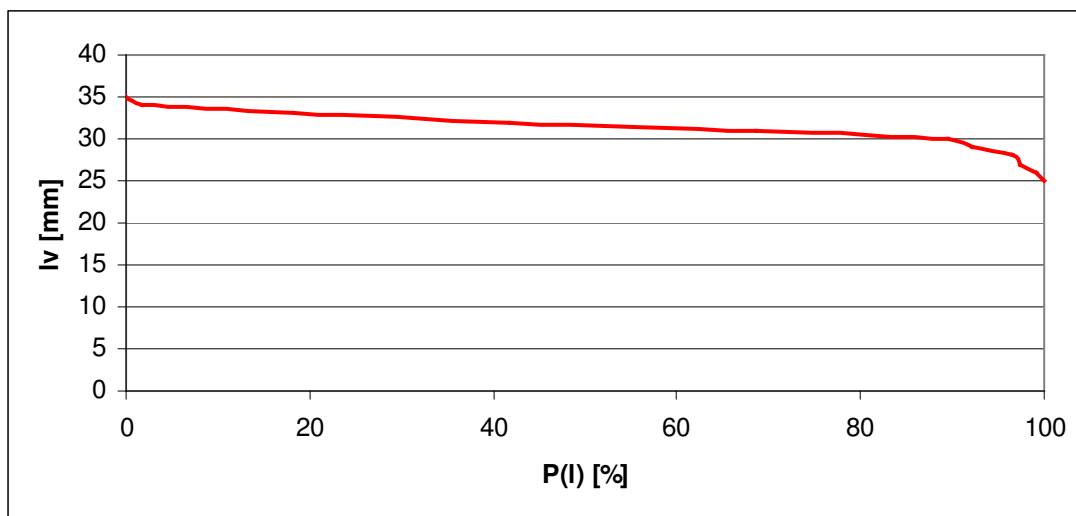
*Obr.14 Histogram bavlny veba*

Při experimentu se ověřila délka vláken a počet vláken ve svazku. Vzorek svazku bavlny veba se připravil stejně jako vzorky v kapitole 2.2. Po zvážení se pinzetou oddělovala jednotlivá vlákna a měřila se pravítkem. Tak se spočítala všechna vlákna ve svazku. Zjistil se přesný počet vláken ve svazku a jejich skutečná délka. Délka vláken v závislosti na četnosti je na obr.14. Ve svazku se vyskytují nejdelší vlákna 31mm dlouhá a nejkratší 25mm dlouhá. Zjištěná hodnota počtu vláken ve svazku vypočítaná podle rovnice 1.16 je 113 ve skutečnosti jich tam bylo 115.



*Obr.15 Histogram 100% bavlny*

Na obr.15 je histogram 100% bavlny všech délek. V porovnání s naměřenou délkou vláken se zde vyskytují krátká vlákna. V experimentu byla krátká vlákna odstraněna při česání na staplovém přístroji, proto se v experimentu nevyskytují.



*Obr.16 Staplová křivka bavlny veba*

Na obr.16 je délka vláken ve svazku závislá na četnosti vláken ve svazku. Nejčetnější vlákna jsou o délce 25mm a nejmenší četnost má vlákno 34mm.

### **2.2.2 Příprava jednotlivých vláken**

Vyčesání i upnutí se provedlo stejným způsobem jako u svazků vláken. Při upnutí jednotlivých vláken odpadá vážení a měření vláken. Skřípcem se uchopilo za konce vláken a vytáhla se. Vlákna se položila na černou sametku a pinzetou se vytáhla jednotlivá vlákna, která se upnula do rámečku stejným způsobem jako při upínání svazku vláken. V tomto případě se dává velký pozor, aby se vlákno při upínání nepřetrhlo.

## 2.3 KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Standardní klimatické podmínky pro přípravu vzorků stanovené v kapitole 1.6 nemohlo být dodrženo vzhledem k podmínkám v laboratoři KTT Technické univerzity v Liberci.

Teplota vzduchu: 25<sup>0</sup>C

Vlhkost vzduchu: 41%

Klimatizování zkušebních vzorků bylo zajištěno uložením min 24 hod v klimatizační komoře před provedenou zkouškou.

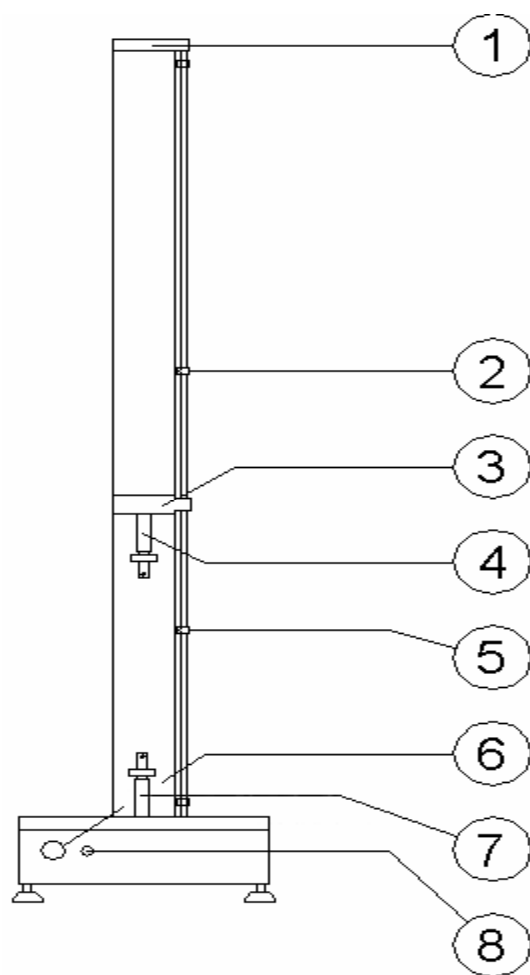
## 2.4 MĚŘENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI VLÁKEN

Tahové zkoušky byli provedeny na stolním univerzálním zkušebním stroji LabTest V.2.010 na obr.17. Na obr.18a) je zobrazen přetržený svazek a na obr. 18b) je vidět přetržené vlákno ve svazku. Stroj je určen pro mechanickou zkoušku v tahu, tlaku či ohybu nejen u vzorků, ale i celých výrobků.

Trhací přístroj je připojen k počítači, kde je instalován speciální program Lab Tech, který naměřené hodnoty automaticky zpracovává. Tímto programem se získaly hodnoty: pevnost [N], relativní pevnost [cN/tex], tažnost [%], modul pružnosti [MPa], čas [s], prodloužení [mm].

Před vlastním měřením se podle normy [11,26] nastaví vstupní údaje kterými jsou: upínací délka [mm], rychlost posuvu přičníku [mm/min], předpětí [N] (záleží na druhu bavlny a zda jsou jednotlivá vlákna nebo svazky vláken). Dále pak jemnost (pro výpočet poměrné pevnosti) [tex] a rychlost deformace do přetrhu [mm/min] (pro všechny materiály 10 mm/min).

Pro jednotlivá vlákna a svazky vláken se zvolí upínací délka 10mm. Pro každý druh bavlny se provede 50 měření, rychlost deformace do přetrhu 10 [mm/min], předpětí [N] pro jednotlivá vlákna a svazky vláken se stanoví dle norem [11,26], rychlost deformace 100 [mm/min], jemnost (záleží na druhu bavlny a zda to jsou jednotlivá vlákna nebo svazky vláken).



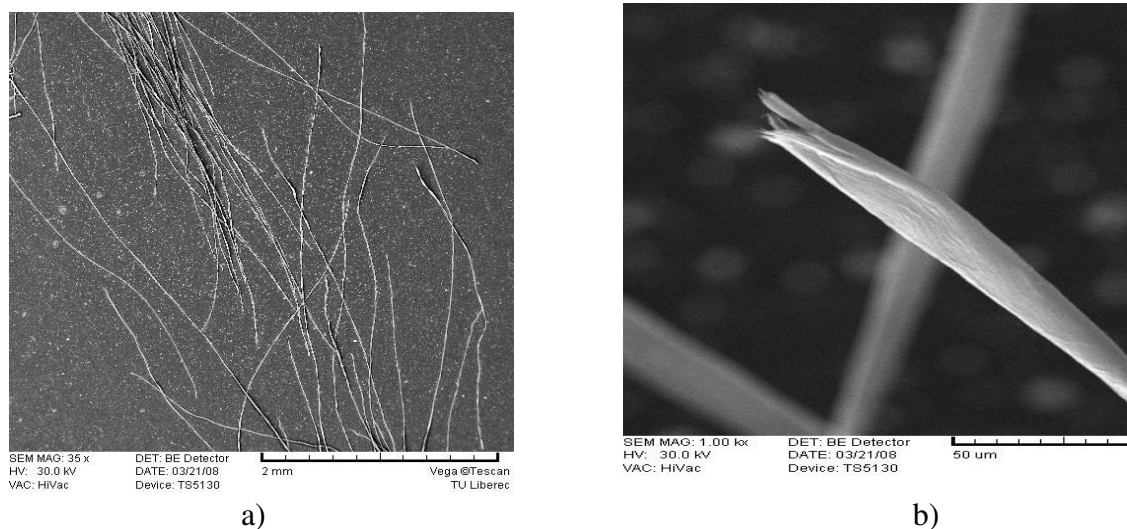
Obr. 17 LabTest V.2.5

**Legenda:**

- |                     |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1 – rám             | 5- ovládání                          |
| 2 – horní doraz     | 6- dolní doraz                       |
| 3 – posuvný příčník | 7- dolní čelist                      |
| 4 – horní čelist    | 8- světelná kontrolka zapnutí stroje |
|                     | 9- hlavní vypínač                    |

Klimatické podmínky: Teplota pracovního prostředí 10 – 35 °C

Vlhkost pracovního prostředí 20 – 70 %

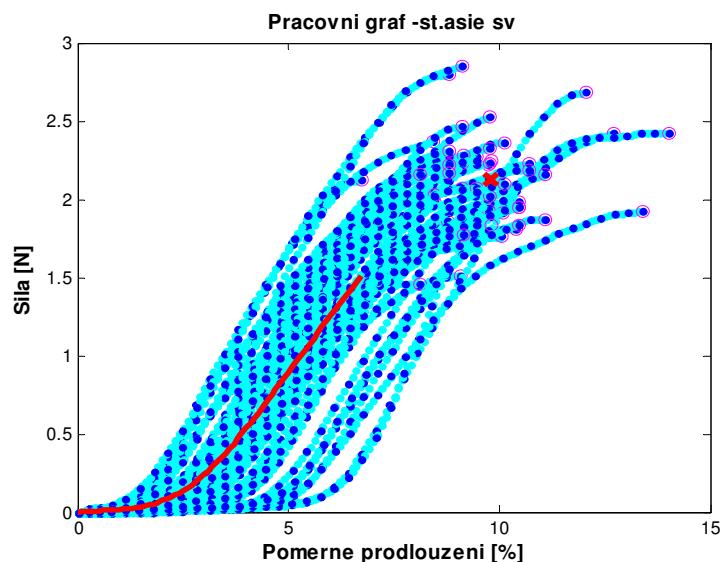


*Obr.18 Trhací zkouška: a) přetržený svazek vláken, b) přetržené vlákno ve svazku*

## 2.5 Vyhodnocení pevnosti a tažnosti vláken

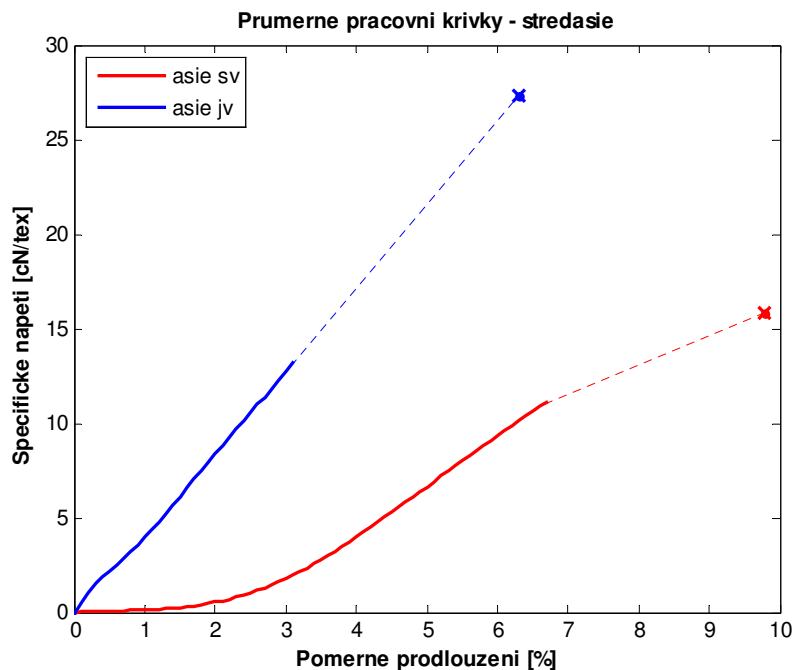
Data pevnosti a tažnosti jednotlivých vláken a svazků vláken byla zpracována pomocí matematického programu Matlab. Byly zaznamenány trhy jednotlivých vláken a vlákenných svazků obr.19, z nichž se vytvořili průměrné tahové pracovní křivky na obr.20. Při stanovení průměrných tahových křivek se testují data na normalitu a vyhledávají se vybočující měření pro předpoklad normálního rozdělení dat. Zvolí se maximálně věrohodný odhad polohy výběrového průměru pro pevnost a tažnost [33].





*Obr. 19 Graf jednotlivých tahových křivek střední asie*

Na obrázku jsou vidět jednotlivé trhy svazků vláken bavlny středoasijské. Tmavě modré body na obrázku jsou původní souřadnice a světle modré body jsou nově interpolované souřadnice. Trhací přístroje obvykle nezaznamenávají souřadnice na ose  $x$  po stále stejných intervalech, ale v závislosti na čase. Není možné tedy uvažovat relaci, kdy jsou souřadnice na ose  $x$  pro všechny křivky shodné tzn., že nelze stanovit průměr z  $y$ -nových hodnot křivek. Tento problém je vyřešen tím, že jsou stanoveny nové souřadnice na ose  $x$  a pomocí lineární interpolace jsou dopočítány nové souřadnice na ose  $y$  pro všechny křivky. A pak je teprve možné stanovit průměrné hodnoty  $y$  [33].



*Obr.20 Graf průměrných tahových křivek střední asie*

Na obrázku jsou průměrné tahové křivky jednotlivých vláken bavlny středoasijské (modrá) a průměrná křivka svazku vláken (červená). Konec plné čáry znamená první přetrh vláken s nejmenší tažností a křížek je maximální dosažené napětí (pevnost). U svazku vláken je vidět pomalý rozběh vlivem navlnění viz. kapitola 1.4.3. Ostatní grafy tahových křivek a průměrných tahových křivek jsou v příloze.

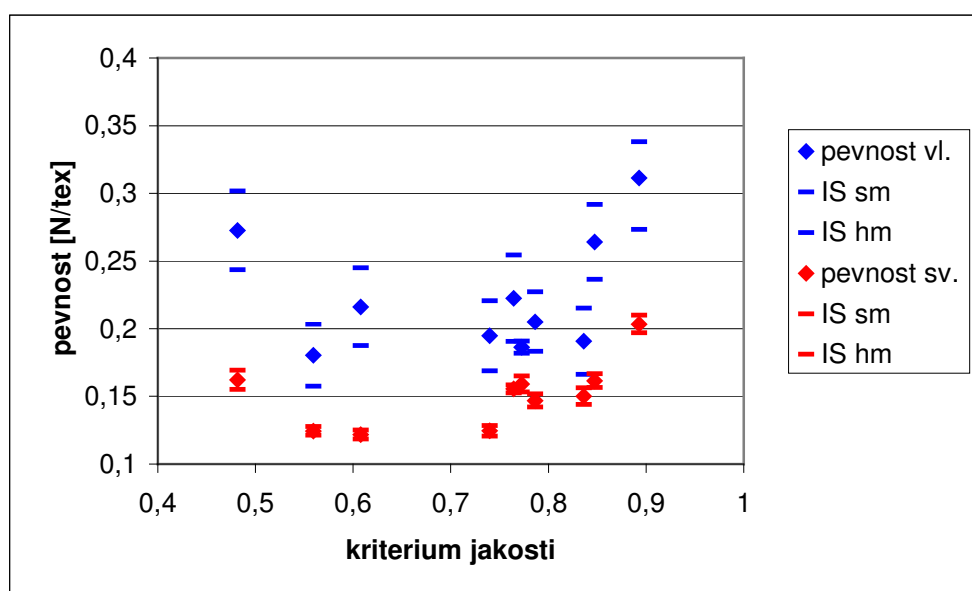
Data se testovala také pomocí programu QC Expert z hlediska normality. Ve všech případech byla přijata. Byly vyhodnoceny základní statistické charakteristiky. Přehled výsledků je uvedeno v následující tabulkách:

*Tabulka 3 Charakteristika jednotlivých vláken*

	<b>Druh bavlny</b>	<b>T<sub>v</sub> [tex]</b>	<b>F [N ]</b>	<b>Pevnost [N/tex]</b>	<b>v<sub>k</sub></b>	<b>ε [ % ]</b>	<b>v<sub>k</sub></b>
<b>1</b>	<b>EGYPT GIZA</b>	0,153	0,0467	0,3113	0,3658	6,3742	0,3430
<b>2</b>	<b>UZBEK RI</b>	0,134	0,0354	0,2641	0,3670	7,5160	0,3385
<b>3</b>	<b>SNS RI</b>	0,182	0,0347	0,1906	0,4517	7,2617	0,3308
<b>4</b>	<b>ŘECKO OSKAR</b>	0,165	0,0338	0,2052	0,3750	7,3503	0,3998
<b>5</b>	<b>VEBA</b>	0,155	0,0288	0,1861	0,0848	7,1102	0,4219
<b>6</b>	<b>USA 2108</b>	0,143	0,0318	0,2225	0,5064	8,4279	0,4067
<b>7</b>	<b>USA 2115</b>	0,187	0,0364	0,1947	0,4713	6,3508	0,3734
<b>8</b>	<b>USA 2121</b>	0,209	0,0451	0,2162	0,4675	9,2282	0,3862
<b>9</b>	<b>USA 2120</b>	0,172	0,0310	0,1803	0,4464	8,1359	0,3811
<b>10</b>	<b>STREDASIE</b>	0,123	0,0265	0,2726	0,3715	6,3452	0,2901

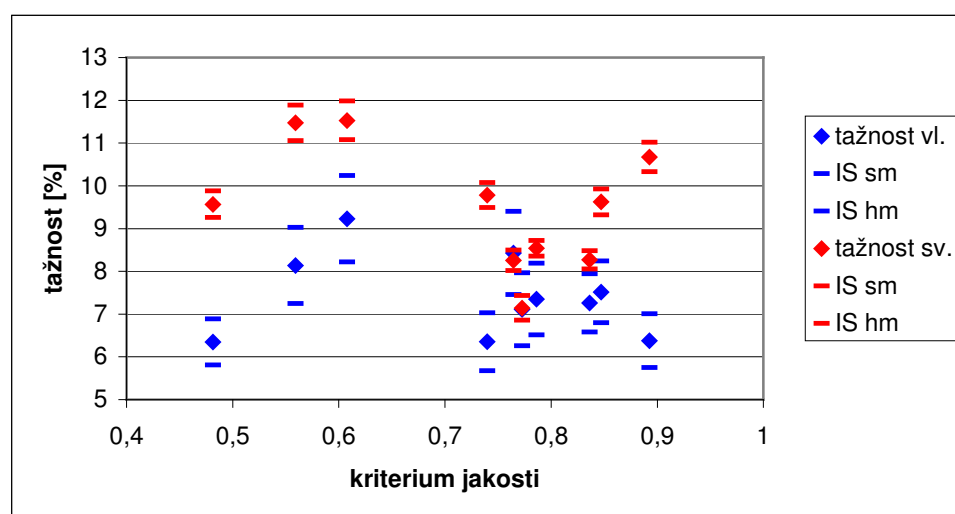
Tabulka 4 Charakteristika svazků vláken

	Druh bavlny	$T_{sv}[\text{tex}]$	n	F [N ]	Pevnost [N/tex]	$v_k$	$\epsilon [\% ]$	$v_k$
1	EGYPT GIZA	17,24	112	3,4927	0,2033	0,1143	10,6732	0,1143
2	UZBEK RI	14,76	110	2,3782	0,1614	0,1113	9,6211	0,1107
3	SNS RI	20,33	111	3,0504	0,1500	0,1455	8,2687	0,0904
4	ŘECKO OSKAR	19,23	116	2,8212	0,1468	0,1148	8,5364	0,0755
5	VEBA	17,21	111	2,7279	0,1590	0,1296	7,1428	0,1360
6	USA 2108	15,96	111	2,4773	0,1553	0,0652	8,2560	0,0999
7	USA 2115	20,28	108	2,5927	0,1245	0,1065	9,7787	0,1038
8	USA 2121	23,14	110	2,8147	0,1218	0,0961	11,5293	0,1345
9	USA 2120	18,60	108	2,3549	0,1243	0,0886	11,4696	0,1281
10	STREDASIE	13,43	109	2,1418	0,1621	0,1504	9,5687	0,1216



Obr.21 Graf porovnání pevnosti jednotlivých vláken a svazku vláken

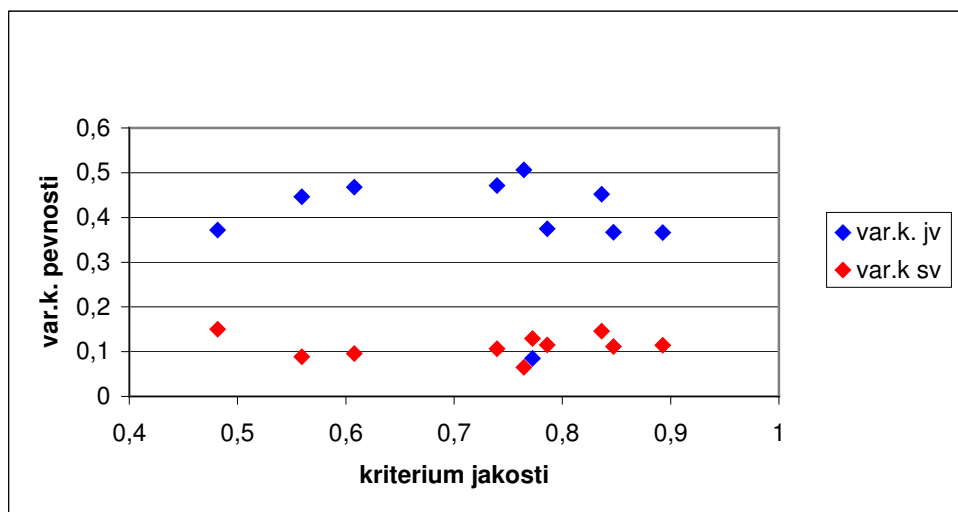
Na obr.21 je vidět, že pevnost mezi jednotlivými vlákny a svazky vláken je statisticky významná. Pevnost vláken je vyšší než pevnost svazků vláken. Důvodem je variabilita tažnosti vláken ve svazku. Čím více je vláken ve svazku, tím větší pravděpodobnost výskytu vlákna s malou tažností. Nejpevnější je vlákno z egyptské bavlny, naopak nejméně pevné je vlákno z bavlny usa 2120. U svazku vláken je nejpevnější také egyptská bavlna, ale nejméně pevný je svazek bavlny usa 2121, protože má vyšší variační koeficient pevnosti.



Obr.22 Graf porovnání tažnosti jednotlivých vláken a svazku vláken

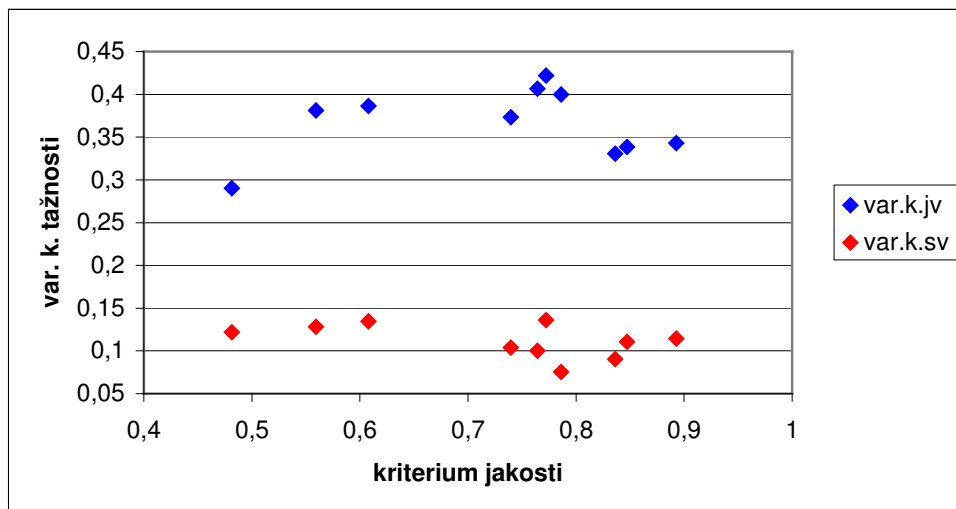
Z grafu je vidět, že tažnost mezi svazky vláken a jednotlivými vlákny je statisticky významná. Tažnost svazku vláken je vyšší než u jednotlivých vláken. Neckářova teorie pevnosti svazku paralelních vláken, kdy za předpokladu viz. kapitola 1.4.2, že svazek je z rovných, nenavlněných vláken při různé hodnotě pevnosti a tažnosti vede ke snížení hodnoty pevnosti svazku, avšak současně k nižší hodnotě tažnosti tady neplatí. Nastal jev, že tažnost svazku vláken je větší než tažnost jednotlivých vláken. Je to způsobeno, zřejmě větším navlněním vláken ve svazku než se vyskytlo u jednotlivých vláken. Ukázalo se, že svazek vláken stejné hodnoty pevnosti a tažnosti, lišící se různou mírou svého navlnění ve svazku, vede rovněž ke snížení hodnoty pevnosti, ale zároveň ke zvýšení hodnoty tažnosti.

Což v tomto případě platí. Největší tažnost má svazek vláken bavlny z usa 2121, u jednotlivých vláken má největší tažnost bavlna usa 2121, nejmenší tažný svazek je veba, u vláken to je bavlna středoasijská.



Obr.23 Graf porovnání variačního koeficientu pevnosti jednotlivých vláken a svazku vláken

Na obr.23 je uvedeno, že jednotlivá vlákna mají vyšší variační koeficient pevnosti než svazek vláken. Teoretický model N. Pana závisí právě na variačním koeficientu pevnosti viz. kapitola 1.4.1. Z experimentu je vidět, že největší variační koeficient pevnosti má bavlna usa 2108 a nejnižší má surovina typu veba. Bavlna typu veba má nejnižší variační koeficient pevnosti vláken, protože má nízkou hodnotu směrodatné odchylky. Je to způsobeno tím, že veba je odebírána z pramene, kdežto ostatní bavlny jsou odebírány z vložky. Pramen bavlny prošel čistírenskou linkou, kde byla odstraněna krátká vlákna a nečistoty. Ostatní vzorky bavlny jsou ze surové bavlny, která neprošla čistírenskou linkou.



Obr.24 Graf porovnání variačního koeficientu tažnosti jednotlivých vláken a svazku vláken

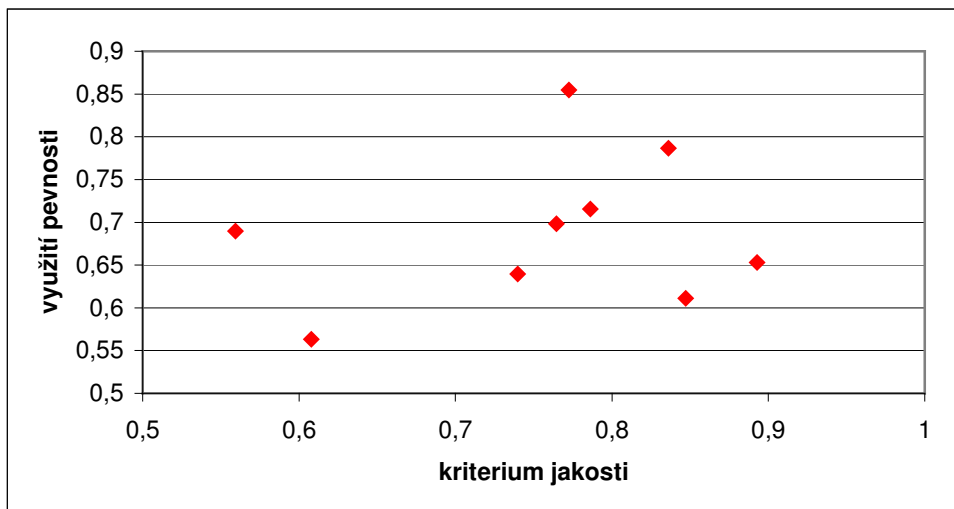
Variační koeficient tažnosti je u jednotlivých vláken vyšší než u svazků vláken. Teoretický model pevnosti vlákenného svazku B. Neckáře závisí na variačním koeficientu tažnosti viz. kapitola 1.4.2. Největší variační koeficient tažnosti u svazku vláken a jednotlivých vláken vychází stejně bavlna veba. Naopak nejmenší hodnotu variačního koeficientu tažnosti u svazku vláken má řecká bavlna u jednotlivého vlákna to je bavlna středoasijská. Podle kapitoly 1.4.2 platí za předpokladu lineární tahové křivky:  $v_{\sigma} = v_{\varepsilon}$ . Průměrná hodnota variačního koeficientu pevnosti vláken je 0,3 a  $v_{\varepsilon}$  je také 0,3.

## 2.6 Využití pevnosti a tažnosti

Z naměřených a vypočtených hodnot se získá využití pevnosti a tažnosti. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5:

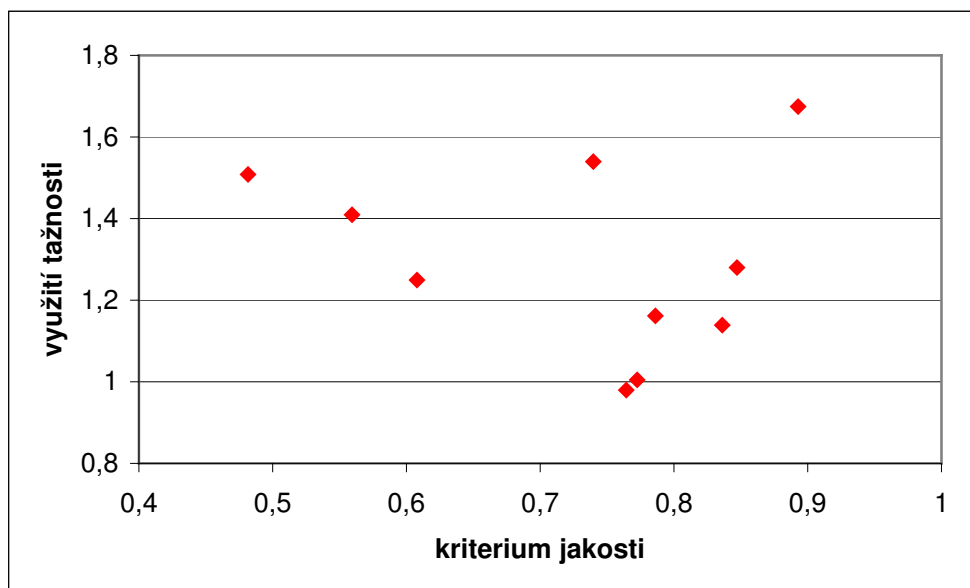
	Druh bavlny	$\phi_p$	$\eta_a$
1	EGYPT GIZA	0,653206	1,674421
2	UZBEK RI	0,611286	1,280091
3	SNS RI	0,786784	1,138677
4	ŘECKO OSKAR	0,71563	1,161368
5	VEBA	0,854666	1,004584
6	USA 2108	0,698226	0,979597
7	USA 2115	0,639448	1,539765
8	USA 2121	0,563387	1,249357
9	USA 2120	0,689703	1,409748
10	STREDASIE	0,594473	1,508009





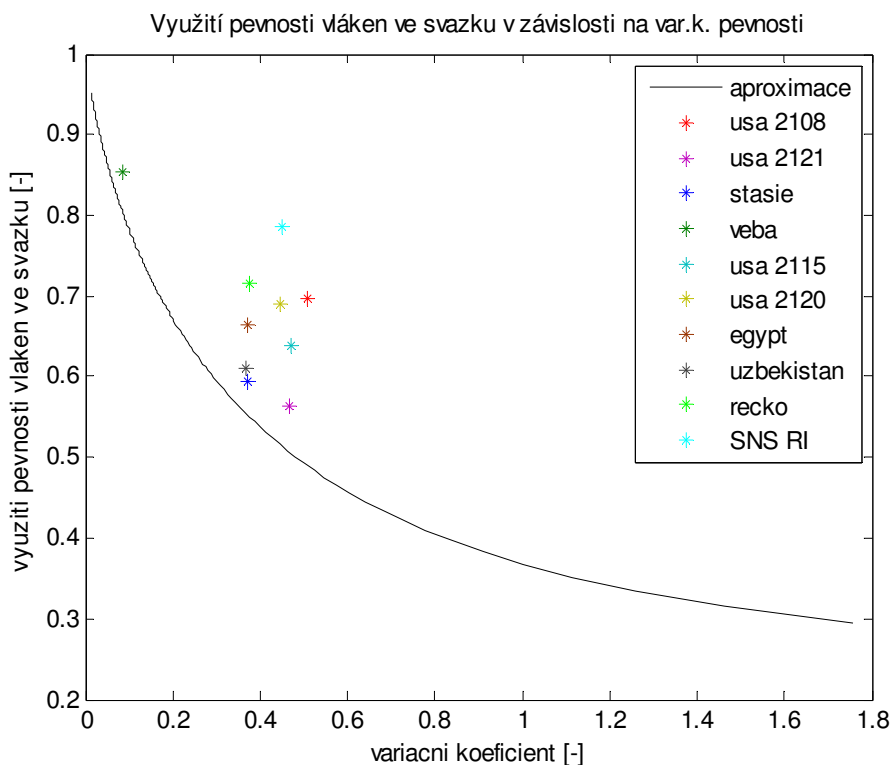
*Obr.25 Graf využití pevnosti*

Z grafu je vidět, že největší využití má bavlna typu veba a to zhruba 85%. Naopak nejnižší využití má bavlna usa 2121 56%. Rozdíl ve využití může být daný kvalitou, vlastnostmi bavlny a variačním koeficientem pevnosti.



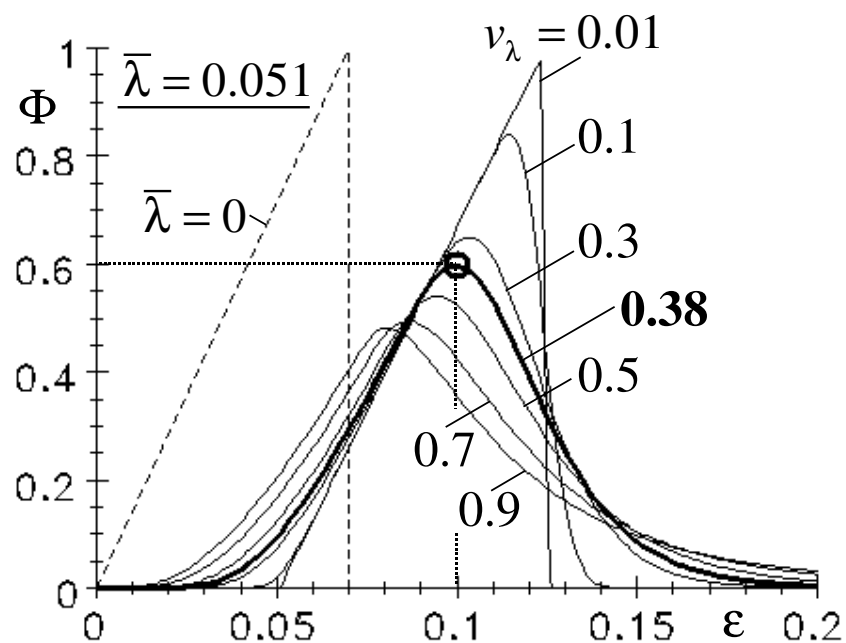
*Obr.26 Graf využití tažnosti*

Z grafu je vidět, že největší využití tažnosti má egyptská bavlna a to zhruba 167%. Naopak nejnižší využití má bavlna usa 2108 56%. Rozdíl ve využití může být daný kvalitou, vlastnostmi bavlny a variačním koeficientem tažnosti.



*Obr. 27 Graf využití pevnosti vláken ve svazku v závislosti na variačním koeficientu pevnosti*

Na obr.27 je vidět využití pevnosti vláken ve svazku v závislosti na variačním koeficientu pevnosti podle Pana a naměřené vzorky bavlny. Hodnota bavlny veba jak je vidět z grafu je od ostatních hodnot zcela odlišná. Je to způsobeno tím, že bavlna veba je odebírána z pramene, kdežto ostatní bavlny jsou odebírány z vložky. Pramen bavlny prošel čistírenskou linkou, kde byla odstraněna krátká vlákna a nečistoty. Ostatní vzorky bavlny jsou ze surové bavlny, která neprošla čistírenskou linkou a proto mají nižší využití pevnosti v závislosti na variačním koeficientu pevnosti. Nejnižší hodnotu ukazuje bavlna usa 2121. Aproximace je vypočítána dle vztahů (1.29) a (1.30). Reálná hodnota variačního koeficientu pevnosti je cca 40% a hodnota využití pevnosti vláken ve svazku v intervalu 55 – 80%.

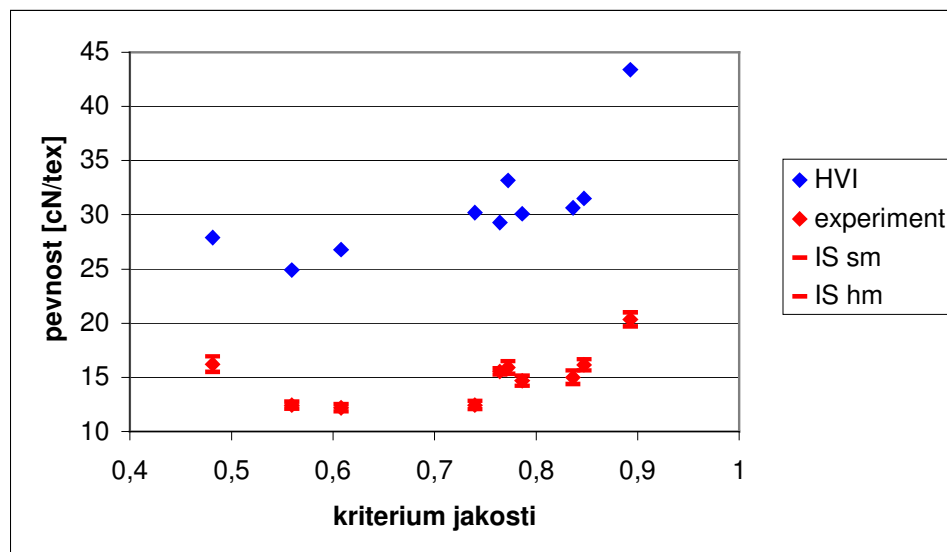


Obr.28 Graf tahových křivek pro střední hodnotu navlnění

Na obr.28 je graf tahových pracovních křivek pro naměřené hodnoty tažnosti 10% a využití pevnosti 0,6. Pro tyto hodnoty platí variační koeficient navlnění 0,38 a střední hodnota navlnění 0,051. Střední hodnota navlnění se vyskytuje v intervalu 0,015-0,13 na obr.10. Naměřená tažnost je v intervalu 6-10%, což je interval uvedený v [34], takže splňuje ověřené hodnoty.

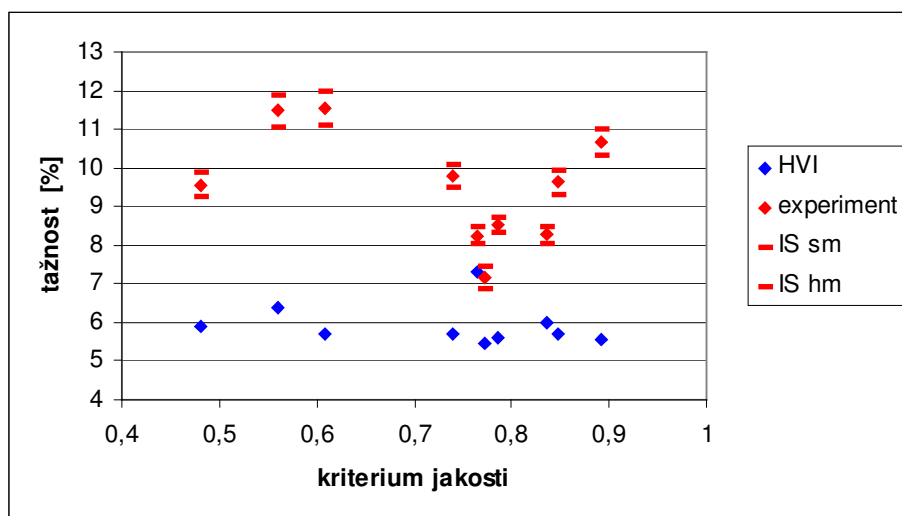
## 2.7 Porovnání naměřených hodnot s HVI

Převzaté hodnoty HVI jsou v tabulce 1.



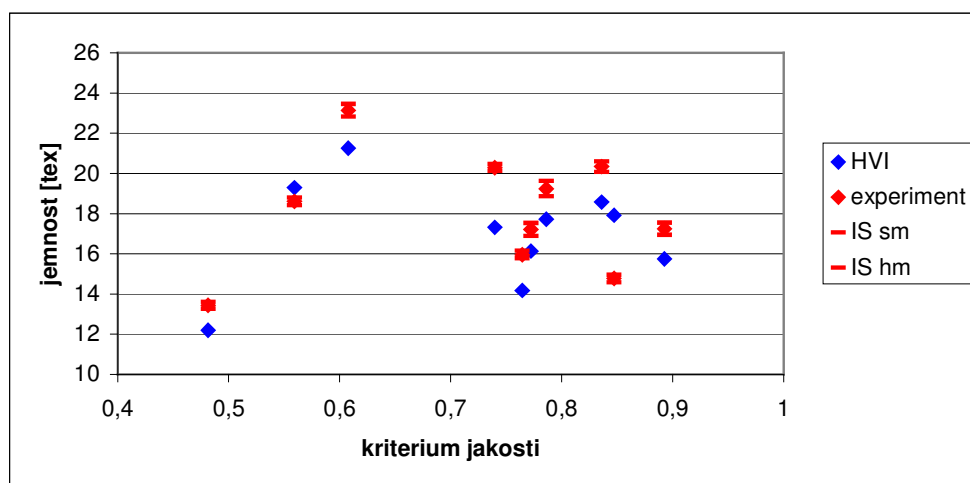
Obr.29 Porovnání pevnosti HVI hodnot s naměřenými daty

Při statisticky významném porovnání svazkové pevnosti vláken je vidět rozdíl mezi metodami. Výrazný rozdíl je ovlivněn upínací délkou měřících přístrojů. HVI přístroj měří s upínací délkou 32mm a experimentální data jsou měřena na upínací délce 10mm. Čím větší upínací délka, tím větší pravděpodobnost výskytu slabých míst a proto trhací přístroj s menší upínací délkou naměří větší pevnost viz. kapitola 1.3.3. Hodnoty pevnosti jsou přímo závislé, protože koreluje  $R^2=0,7$ .



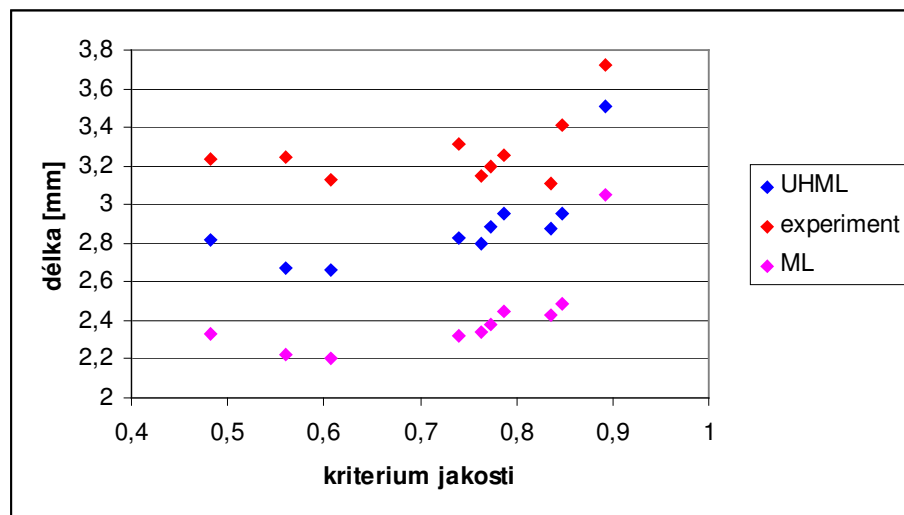
Obr.30 Porovnání tažnosti HVI hodnot s naměřenými daty

Na obr.29 je vidět statisticky významná naměřená tažnost a HVI hodnoty. Naměřená tažnost je vyšší než u HVI. Vlivem navlnění, které vzniklo při upínání svazků vláken do rámečku vychází vyšší tažnost svazků vláken než tažnost jednotlivých vláken. Tažnost měřena na HVI spočívá v sevření svazku vláken mezi dva páry čelistí o známé vzdálenosti. Jeden pár je pevně uchycen, druhý je od prvního odtahován konstantní rychlostí až do doby, kdy dojde k přetrhu vláken. Prodloužení je pak vyjádřeno na základě vzdálenosti čelistí po přetržení a před přetrhem. Princip je podobný jako u měření experimentu. Hodnoty tažnosti jsou nepřímo závislé, protože nekorelují  $R^2 = -0,4$ .



Obr.31 Porovnání jemnosti HVI s hodnotami vypočtených jemností

Na obr.31 je vidět, že je statistická významnost jemnosti mezi naměřenými daty a HVI hodnotami. Naměřená jemnost je ve většině případů vyšší než jemnost z HVI. Hodnoty HVI jsou získány v *micronairech* a přepočítány na *tex*. Metoda HVI spočívá ve vystavení odporu vložky vláken proti pronikání proudu vzduchu. Experimentálně získané hodnoty jemností jsou vypočteny ze vzorce (1.1). Z naměřené délky vláken ve svazku a hmotností svazku vláken. Hodnoty jemnosti korelují  $R^2=0,6$ .



Obr.32 Porovnání délky vláken ve svazku HVI hodnot s naměřenými daty

Délka vláken ve svazku na obr.32 je mezi naměřenými hodnotami a HVI statisticky významná. Naměřená délka svazku je zásadním způsobem vyšší než získané HVI hodnoty. V experimentu při česání vláken na staplovacím přístroji se odstranila krátká vlákna a vybrala se ta nejdelší. Pravítkem se změřila délka vláken ve svazku. Nejdelší vlákna má egyptská bavlna a nejkratší má bavlna typu SNS RI a usa 2121. V metodě HVI je princip založen na optickém snímání trásně viz. kapitola 1.5.2.. Hodnoty délky vláken korelují  $R^2=0,6$ .

### 3. ZÁVĚR :

Cílem diplomové práce bylo sledovat na základě zjištěných výsledků souvislosti mezi využitím pevnosti vláken ve svazku a variabilitou pevnosti či tažnosti vláken. Na bavlněných jednotlivých vláknech a vlákenných svazcích různé jemnosti byla provedena tahová zkouška při rychlosti deformace 100 [mm/min] a upínací délce 10 [mm/min].

Z experimentu bylo zjištěno, že pevnost vláken je vyšší než pevnost svazku vláken vlivem variability pevnosti vláken ve svazku. Ukázalo se však, že tažnost svazku vláken je větší než tažnost u jednotlivých vláken. Pravděpodobně to je způsobeno větším navlněním u svazku vláken než u jednotlivých vláken. Při porovnání s teoretickými modely vychází Neckářova teorie s vlivem navlnění. Neckářova teorie, kdy svazek vláken zcela rovných (nenavlněných) vláken má různé hodnoty pevnosti a tažnosti vede ke snížení hodnoty pevnosti svazku, ale zároveň k nižší tažnosti tady neplatí. Naopak teorie o navlnění, kdy svazek z vláken stejné pevnosti a tažnosti, lišící se pouze různou mírou svého navlnění ve svazku vede ke snížené hodnotě pevnosti, ale zároveň ke zvětšené hodnotě tažnosti tady platí. Lze tedy předpokládat, že variabilita tažnosti vláken tažnost svazku snižuje, zatímco navlnění tažnost svazku spíše zvyšuje.

Při porovnání pevnosti HVI hodnot s naměřenými hodnotami bylo zjištěno, že hodnoty HVI jsou vyšší vlivem upínací délky. HVI byli měřeny s upínací délkou 3,2mm a experiment při 10mm. Čím větší upínací délka, tím větší pravděpodobnost výskytu slabých míst. Tažnost je v experimentu větší než u hodnot HVI. Je to způsobeno větším navlněním u experimentálních hodnot než u hodnot HVI. Jemnost u naměřených hodnot je menší než u HVI. Zřejmě to je způsobeno jinou metodou měření. Délka vláken je v experimentu delší než u HVI a to proto, že se při experimentu vybírala ze staplovacího přístroje ta nejdelší vlákna.

Pro získání věrohodnějších dat by bylo potřeba měření zopakovat a provést více měření. K odstranění navlnění u svazků vláken je potřeba měřit na trhacím přístroji bez předpětí i jednotlivá vlákna a určit výpočetně konstantu pro začátek trhu. Tak by se získala vlákna rovná, nenavlněná a mohlo by se užít jiné např. Paretovo rozložení. Také by bylo dobré vymyslet teoretický model, kde by došlo ke sloučení předpokladů a zamezilo se tak vlivům na pevnost a tažnost vláken. Lze použít pro predikci pevnosti přízí.

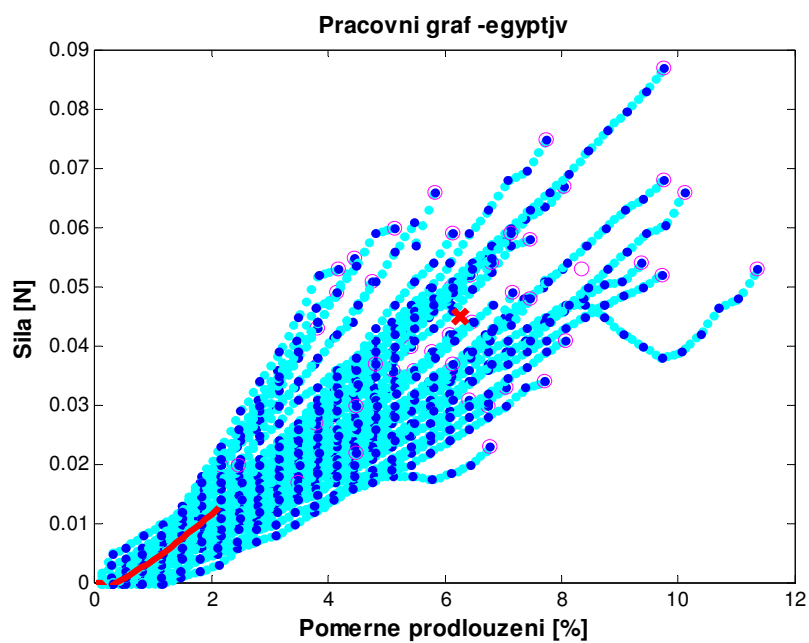
## Literatura:

- [1] [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/6/-rostlinná\\_vlákna.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/6/-rostlinná_vlákna.pdf)
- [2] Interní norma č.11-108-01/01/01 Definice. Geometrické vlastnosti vláken
- [3] Neckář,B.- Příze.Tvorba, struktura, vlastnosti. SNTL Praha 1990. ISBN 80-03-00213-3
- [4] Neckář,B.- Morfologie a strukturní mechanika obecných vlákenných útvarů, TUL 2001
- [5] [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060322111958/-mechanické\\_vlastnosti.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060322111958/-mechanické_vlastnosti.pdf)
- [6] Dokoupilová,L.-Vliv rychlosti deformace na pracovní tahové křivky přízí.  
Diplomová práce. FT TUL 2007
- [7] Kolektiv – A Statistical Model and Experimental Study of the Strain-rate Dependence of the Strength of Fibrex, Composites Science and Technology, Vol. 52, 1995
- [8] ČSN ISO 5079 (800 200)-Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých vláken při přetrhu, Český normalizační institut, Praha 1997
- [9] Ursíny,P.-Předání I., TUL Liberec 2001
- [10] Kolektiv- Composites Part, Vol. 29, 1998
- [11] ČSN ISO 3060 (800 235)- Zjišťování pevnosti plochých svazků, Český normalizační institut, Praha 1974
- [12] Kolektiv- Composites Science and Technology, Vol.57, 1998
- [13] Kolektiv- Journal of Material Science, Vol.40, 2005
- [14] Kolektiv- Journal of Material Science, Vol.33, 1998
- [15] Krebsová,M.- Nauka o polymerech, VŠŠT Liberec 1978
- [16] Křemenáková,D.- Modelování geometrie a pevnosti bavlněných přízí. Habilitační práce FT TUL 2005
- [17] Pan, N.- A Detailed Examination of the Translation Efficiency of Fiber Strength into Composites Strength, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol.14, 1995
- [18] Pan,N.- Theoretical Determination of the Optimal Fiber, Volume Fraction and Fiber Martix Property Compatibility Polymer Composites, Vol.14,1993
- [19] Křemenáková D.,Militký J.,Vozková P.- Comparasion of yarns strength predictions with Uster statistic

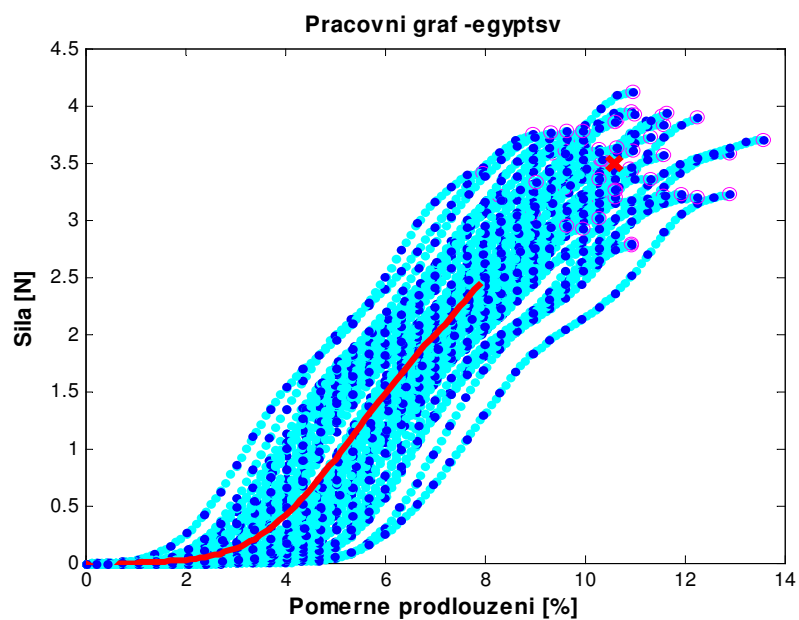


- [20] Neckář,B.- Tahová pracovní křivka, pevnost a tažnost svazku navlněných vláken, interní materiál KTT FT TUL 2008
- [21] ČSN ISO 1973 (800 269)- Textilní vlákna. Zjišťování délkové hmotnosti- Gravimetrická a vibroskopická metoda. Český normalizační institut, Praha 1997
- [22] ČSN ISO 0238 (800 238)- Bavlna. Stanovení mikronérní hodnoty
- [23] Militký,J.- Textilní zkušebnictví, FT TUL Liberec 1999
- [24] Interní norma č.46-108-01/01 Doporučený postup tvorby příčných řezů. Měkké a tvrdé řezy.
- [25] Kovačič, V.- Zkoušení textilií, VŠST, Liberec 2001
- [26] ČSN ISO (800 201)- Stanovení délky vláken měřením délky jednotlivých vláken. Vydavatelství Úřad pro normalizaci a měření, Praha 1973
- [27] [www.uster.com](http://www.uster.com)
- [28] <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060425/jakost3.pdf>
- [29] [www.retex.cz](http://www.retex.cz)
- [30] Militký,J.- Komplex Duality of Cotton Fibers. FAO/SCORENA. Textiles for Sustainable Development. Nova Publisher 2007
- [31] Interní materiál- Jemnost bavlny naměřená gravimetricko metodou, KTT TUL Liberec
- [32] ČSN ISO 20139 (800 056)- Textilie. Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení. Český normalizační institut 1973
- [33] Špánková, J.- Manuál k výpočetnímu programu TahoveKrivky.M, KTT TU Liberec
- [34] Kolektiv – Příručka textilního odborníka I.část, SNTL Praha 1981

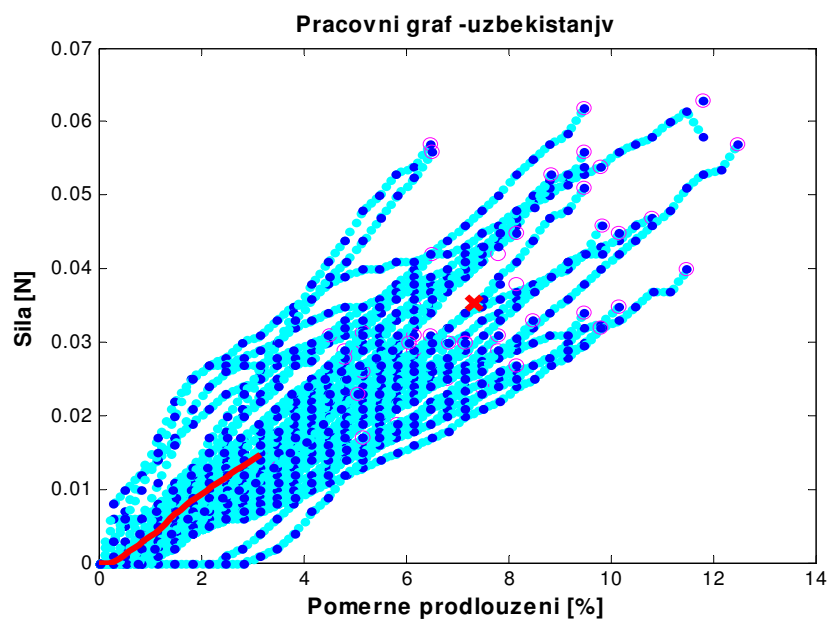
## Přílohy:



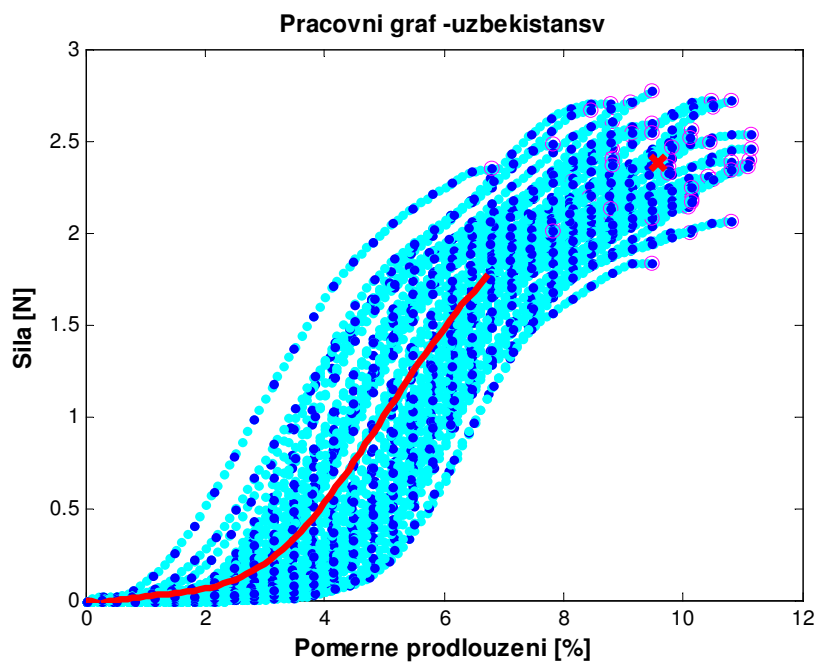
Obr. 33 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek



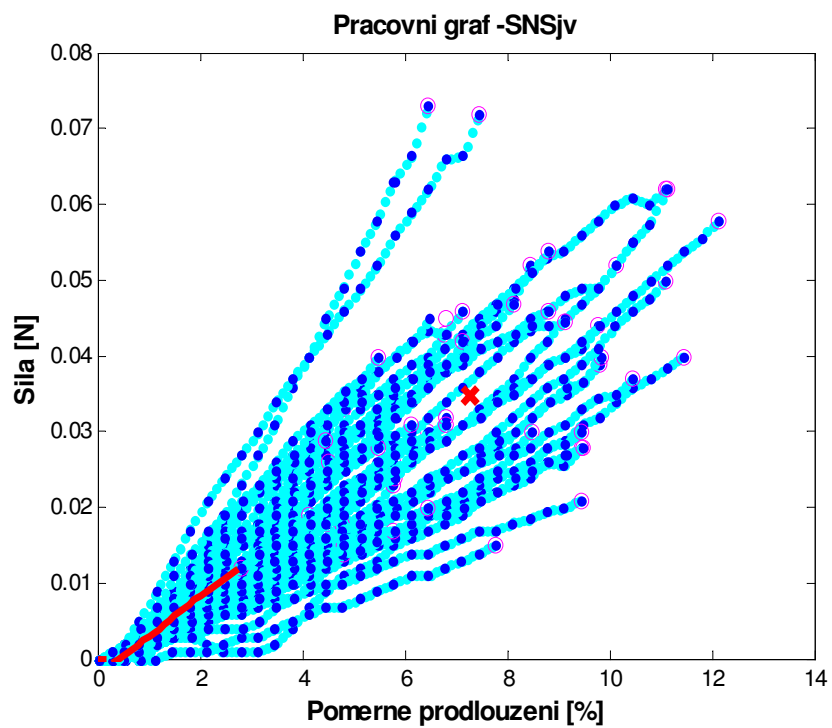
Obr. 34 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek



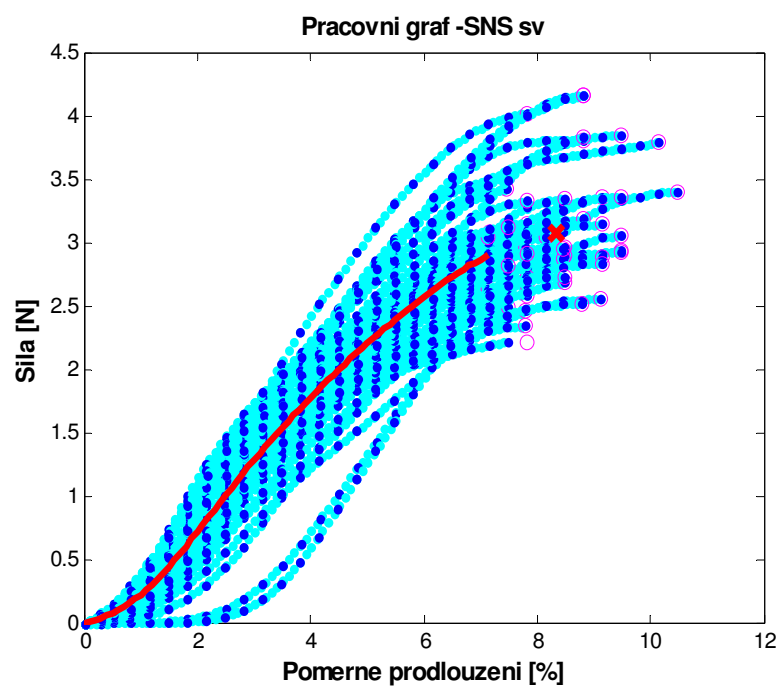
*Obr. 35 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



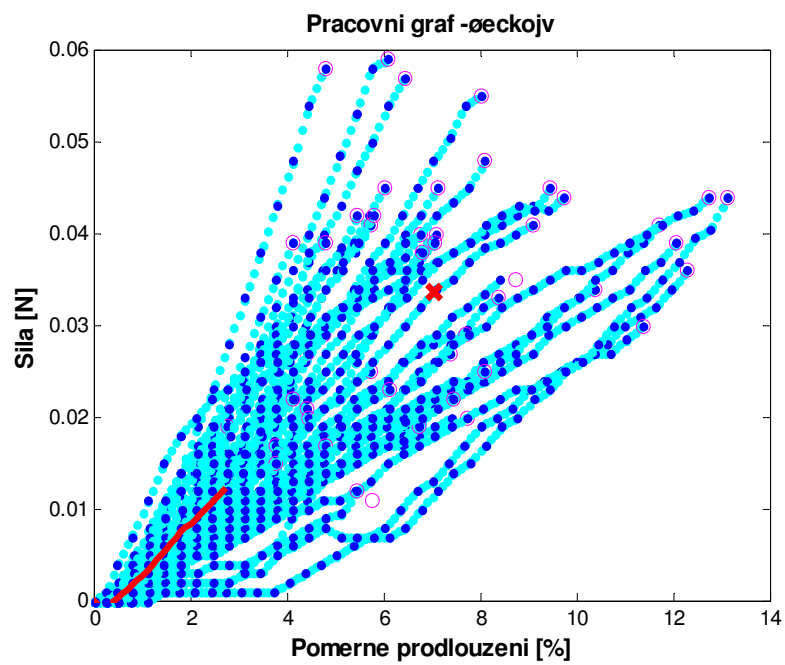
*Obr. 36 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



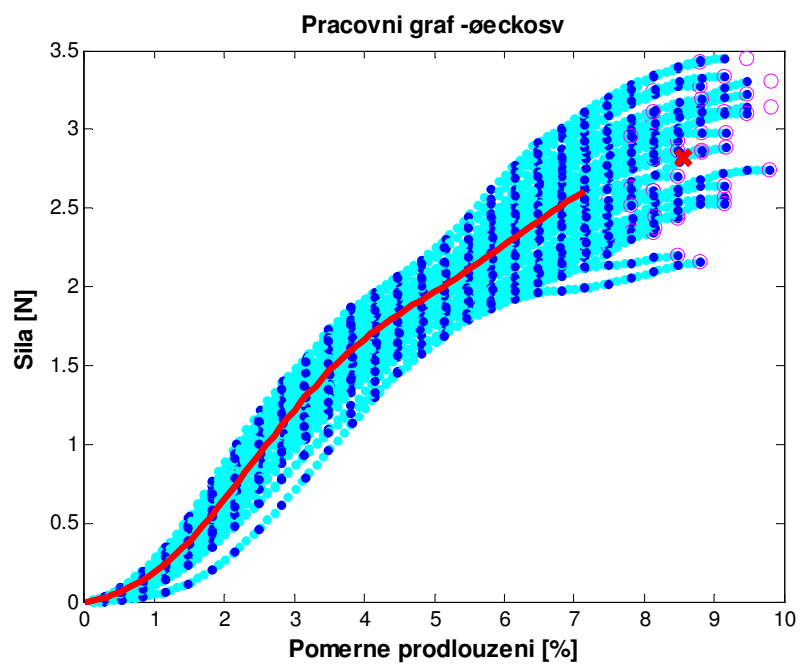
*Obr. 37 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



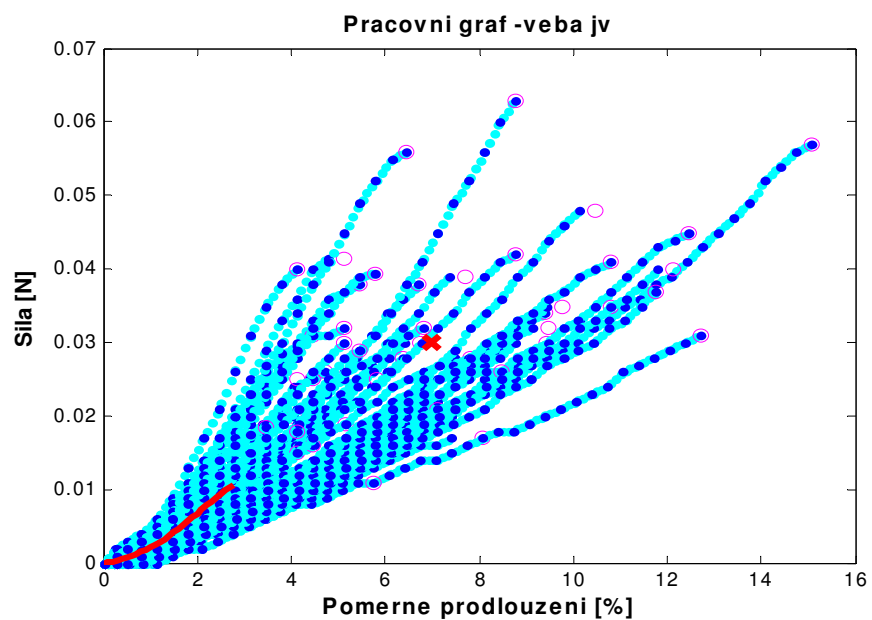
*Obr. 38 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



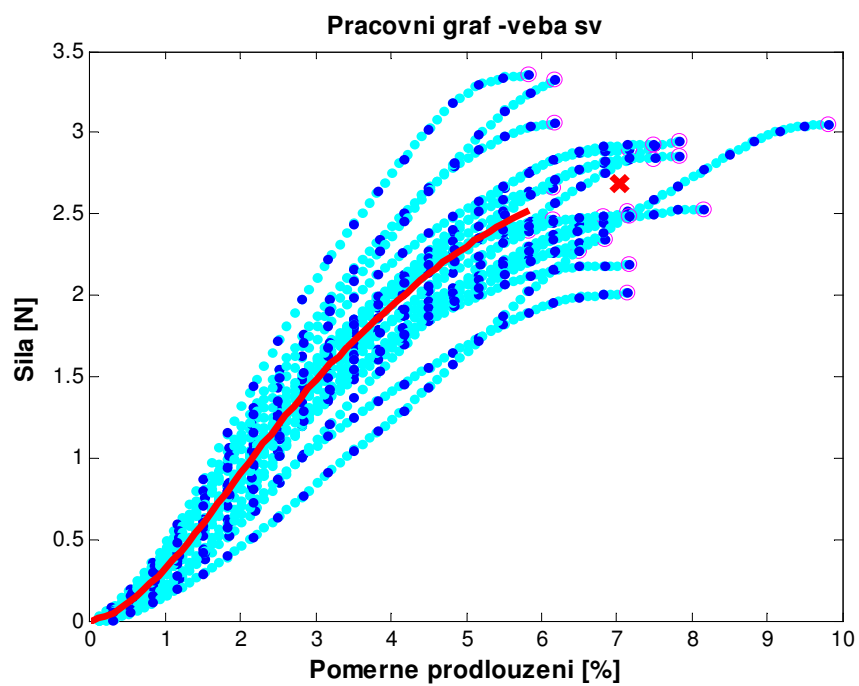
Obr. 39 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek



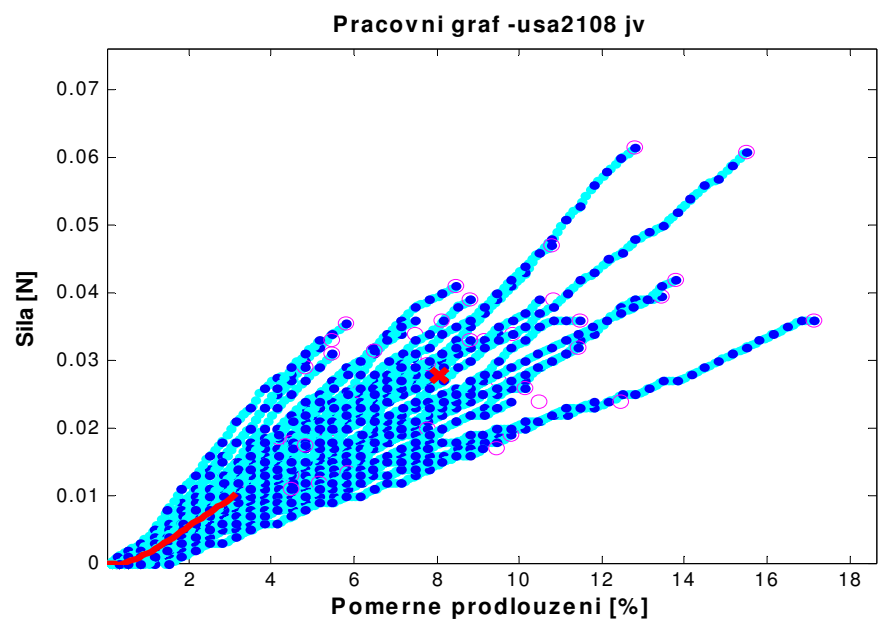
Obr. 40 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek



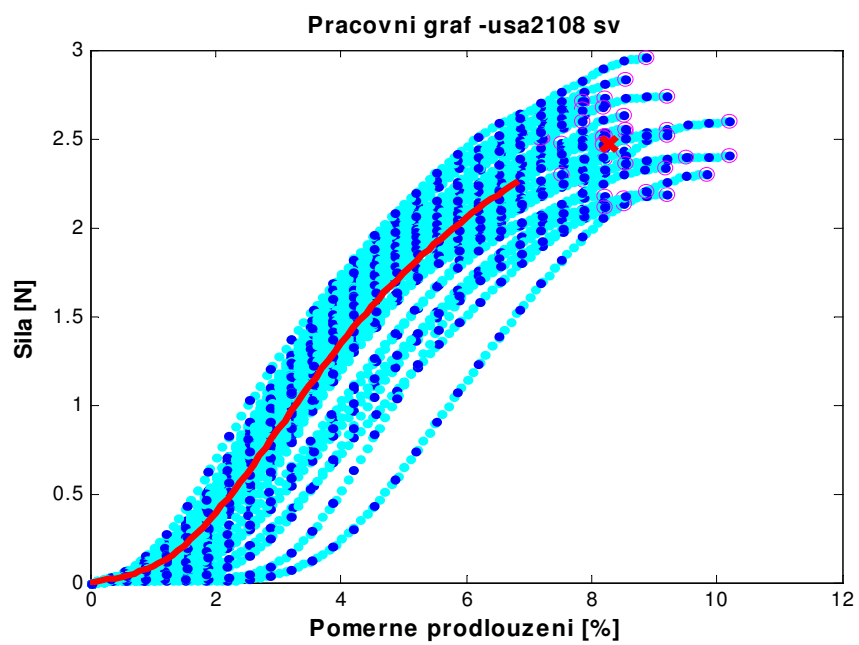
*Obr. 41 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



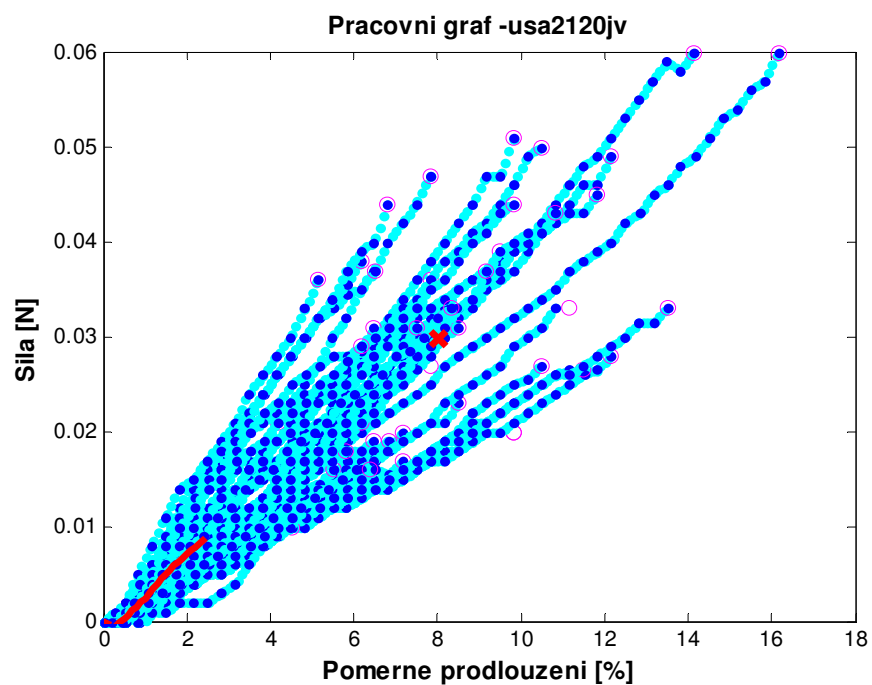
*Obr. 42 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



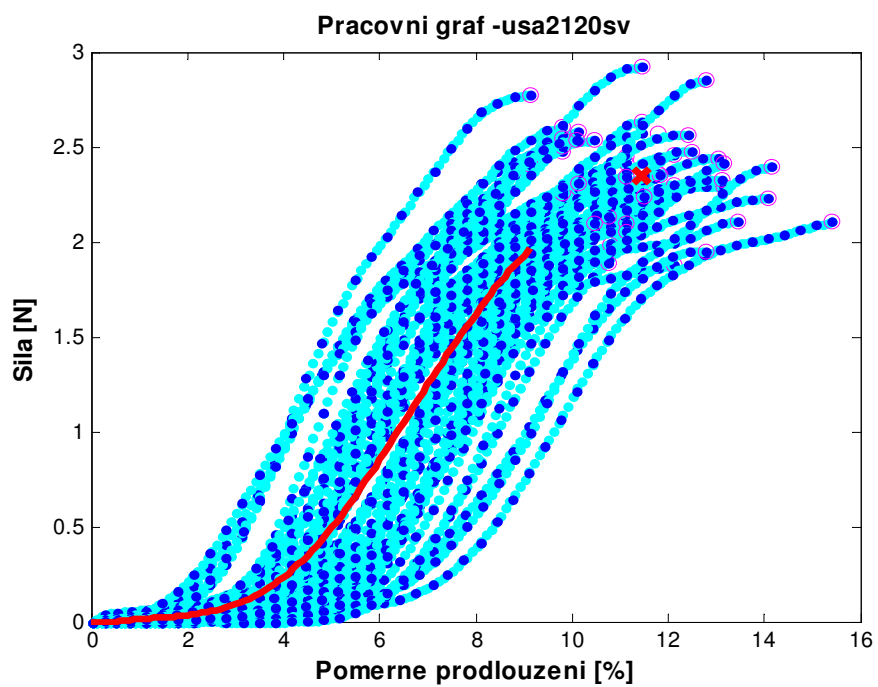
*Obr. 43 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



*Obr. 44 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*

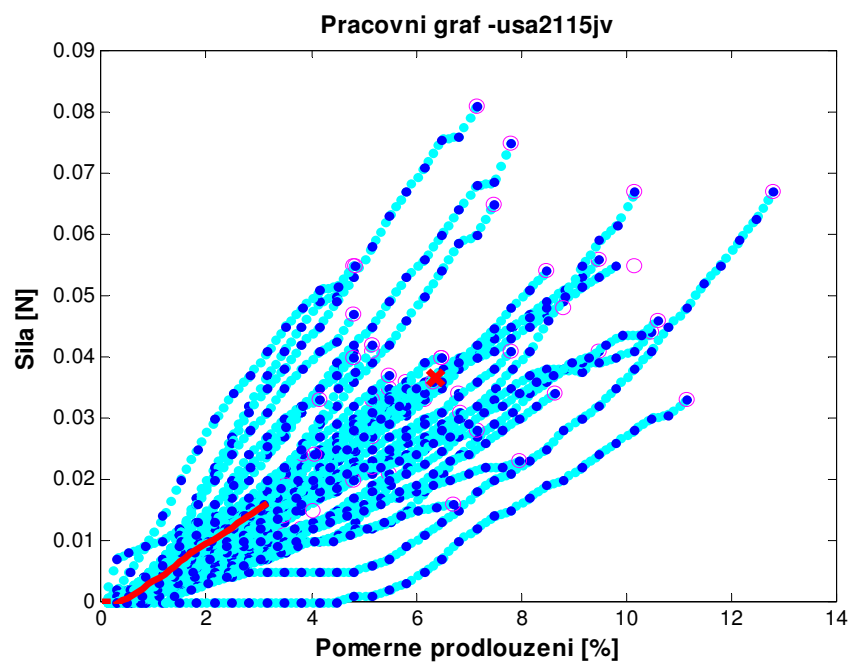


Obr. 45 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek

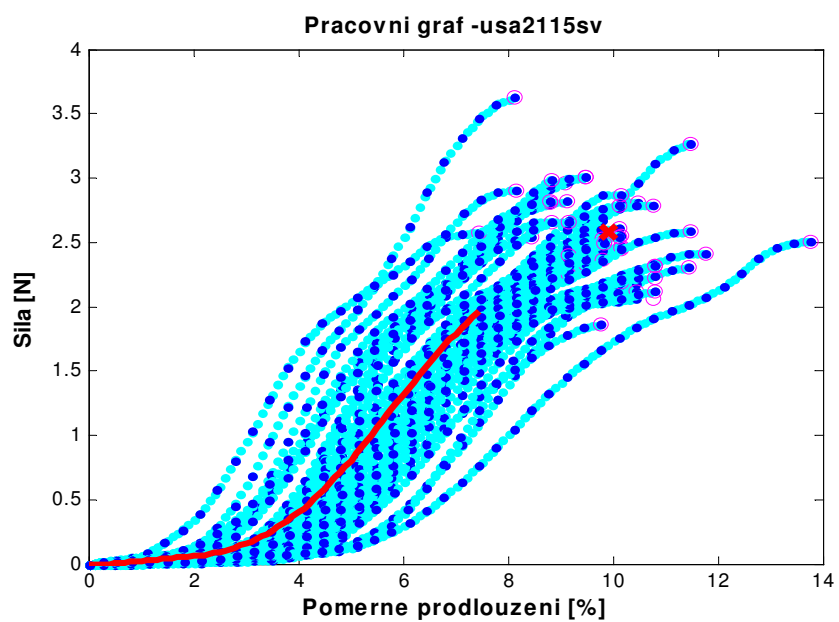


Obr. 46 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek

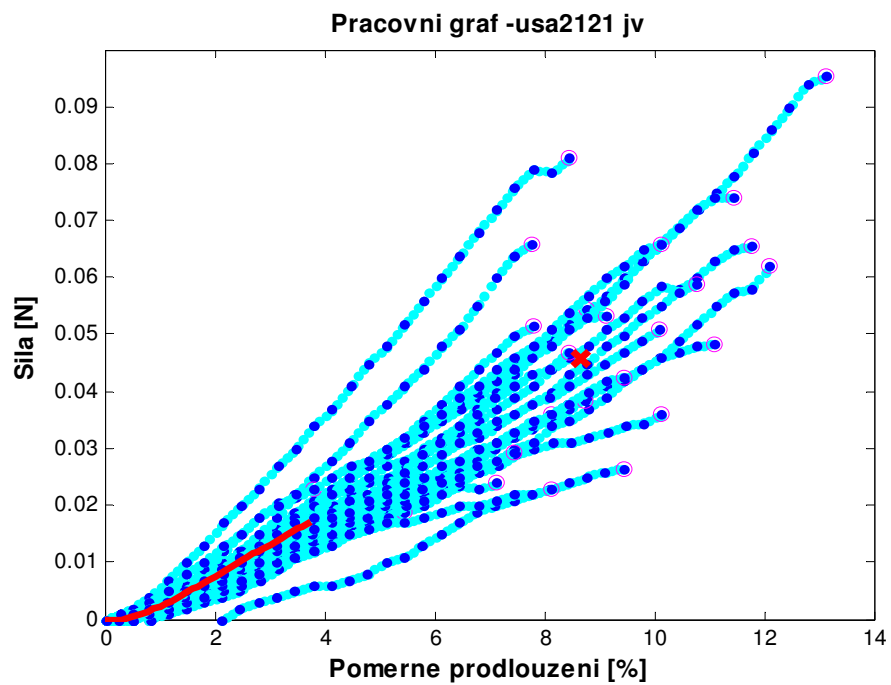




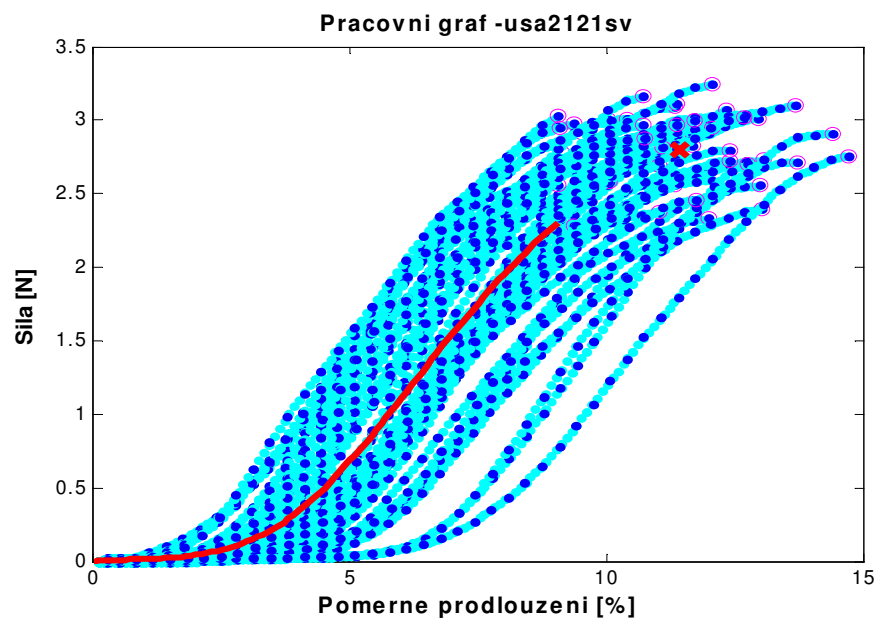
*Obr. 47 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



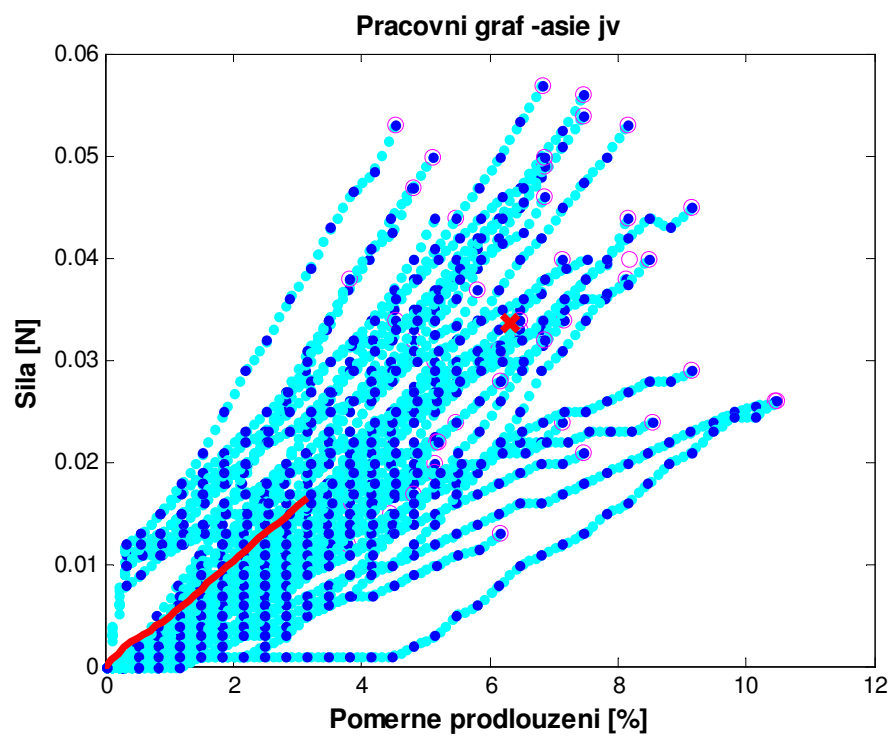
*Obr. 48 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



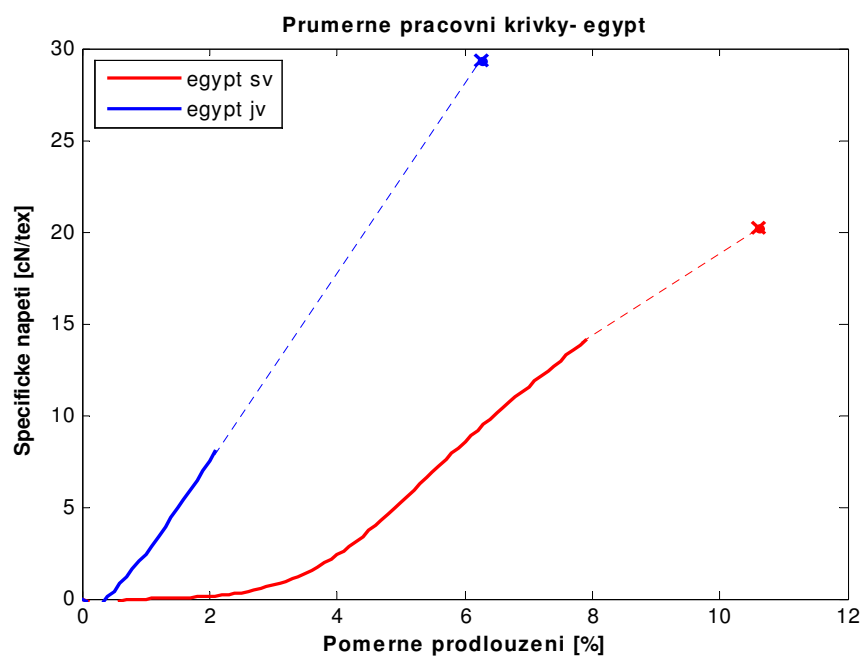
*Obr. 49 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



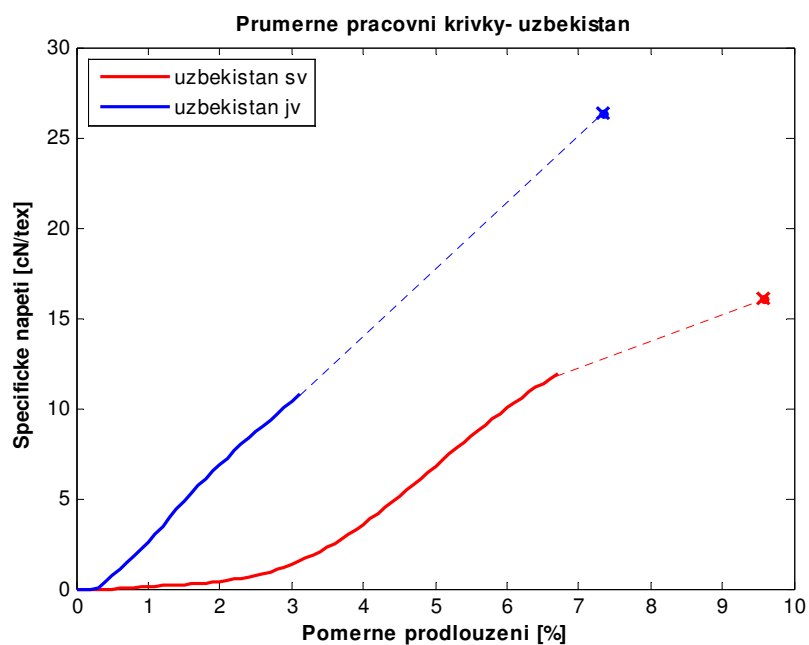
*Obr. 50 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



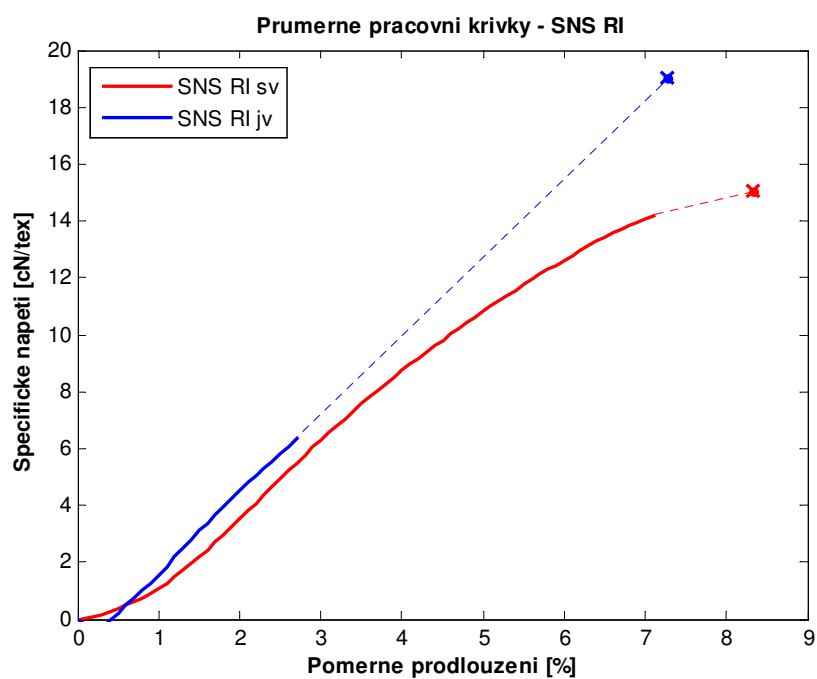
*Obr. 51 Graf jednotlivých tahových pracovních křivek*



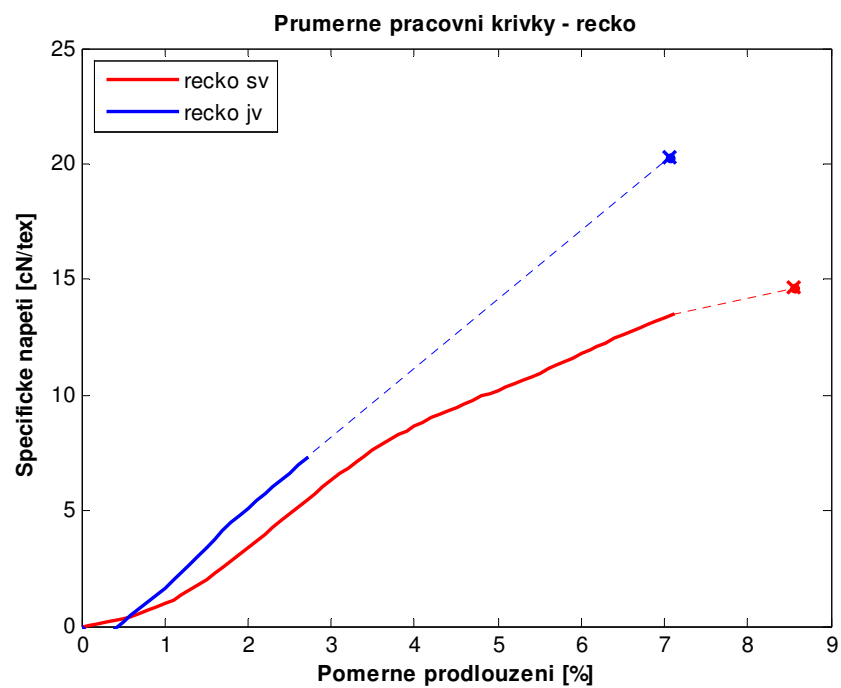
*Obr.52 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



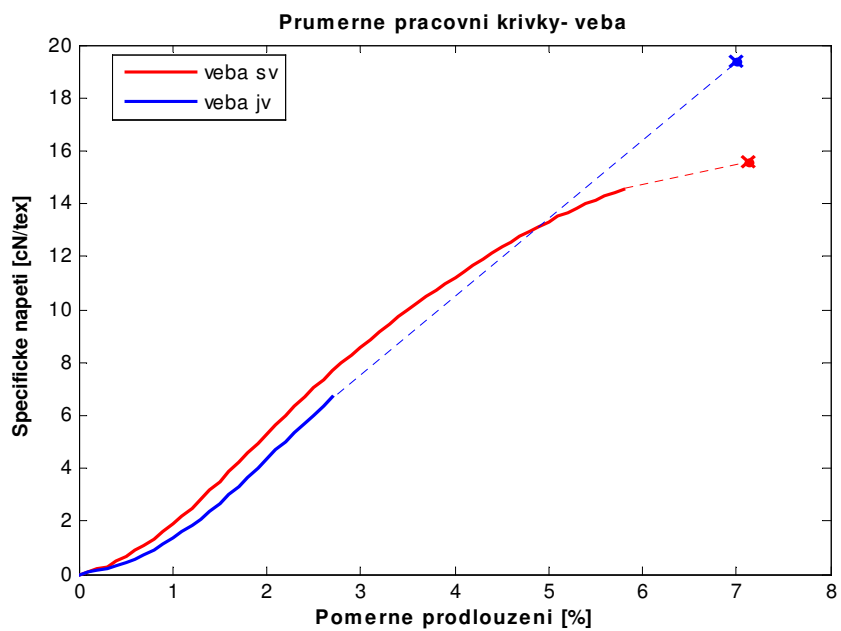
*Obr.53 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



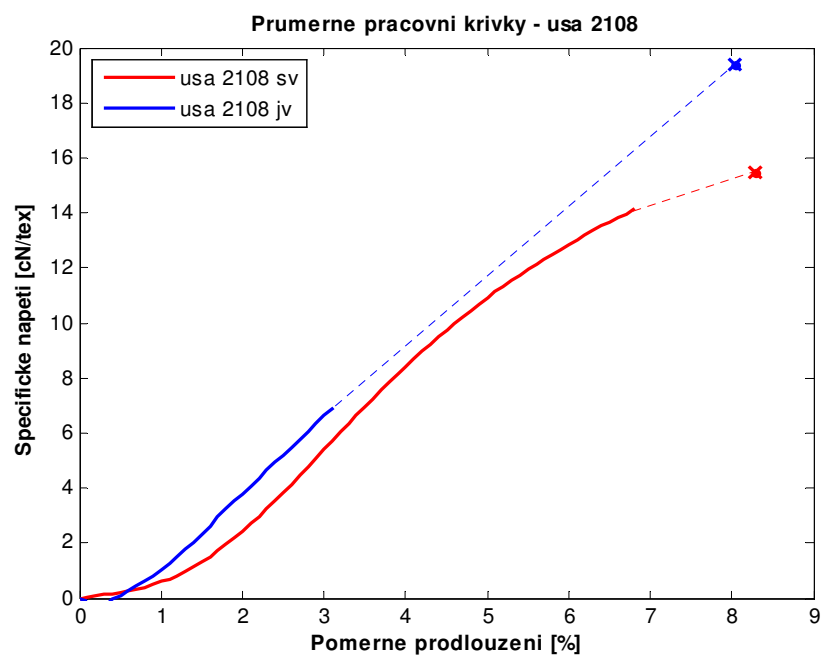
*Obr.54 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



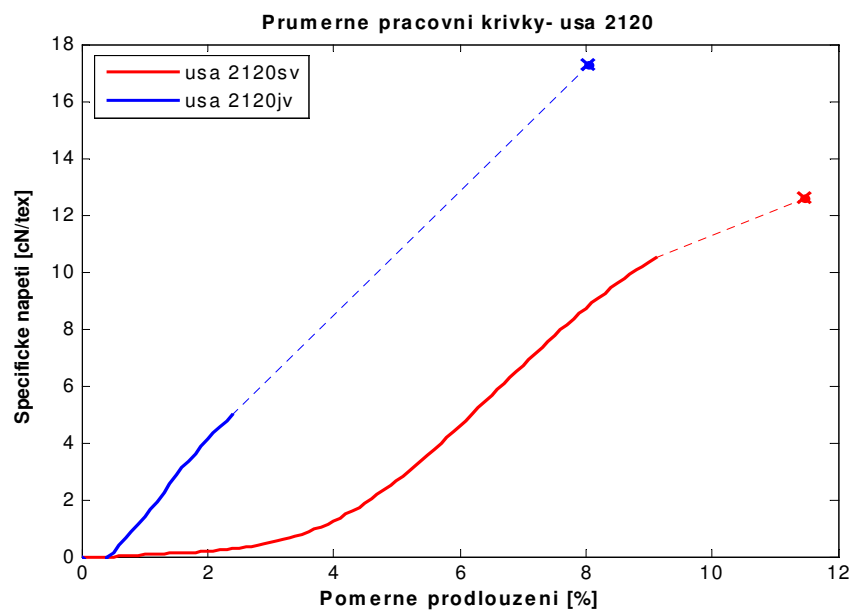
*Obr.55 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



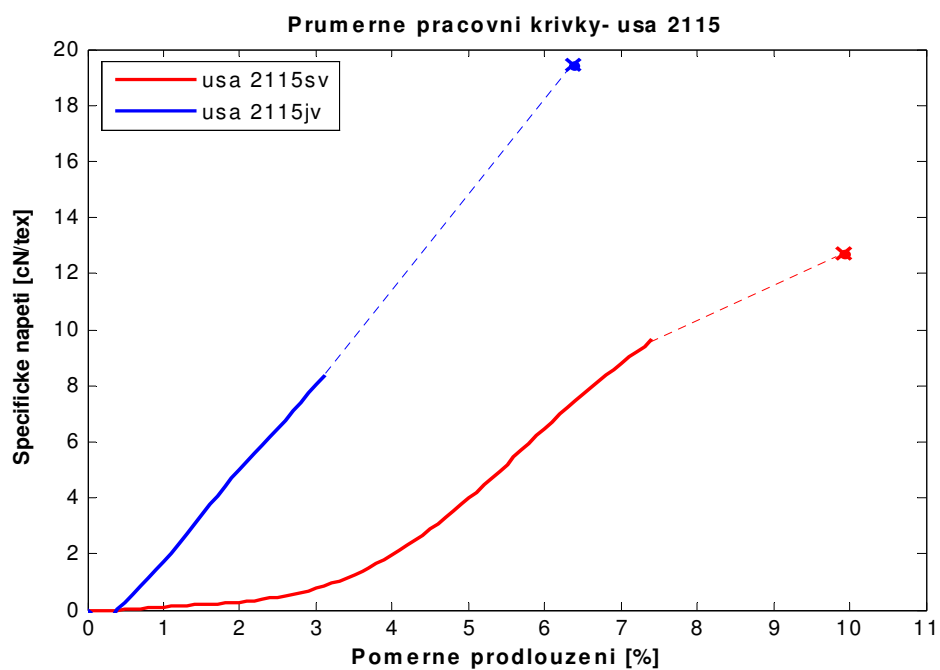
*Obr.56 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



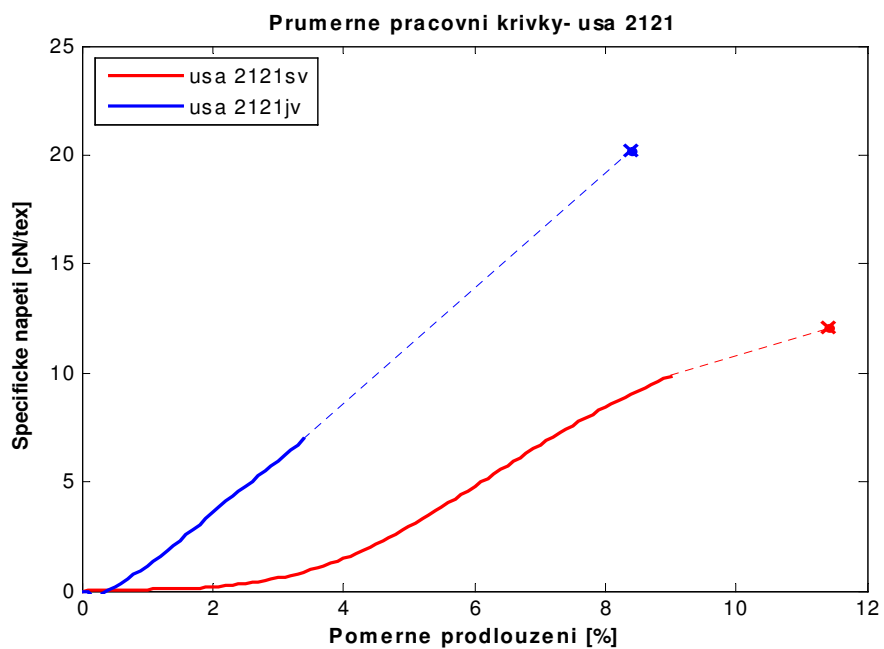
*Obr.57 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



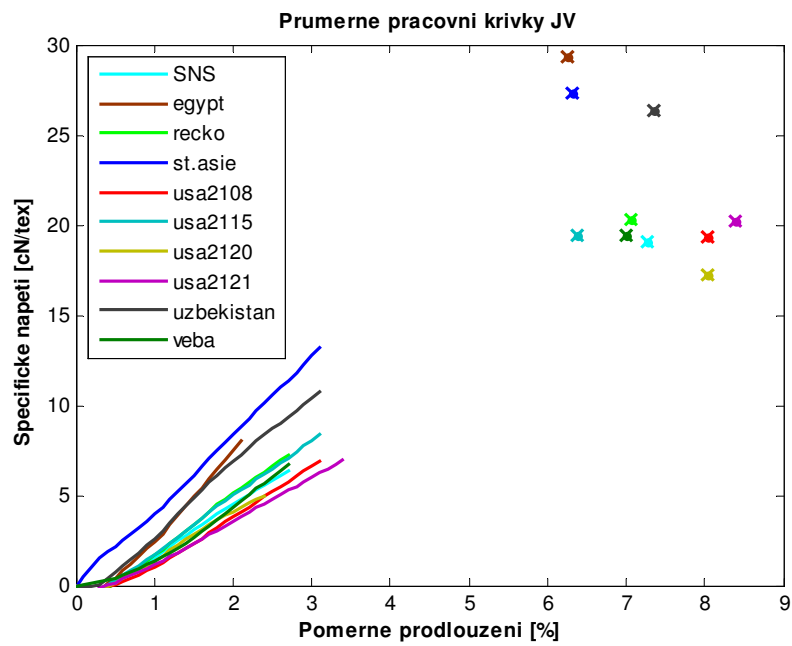
*Obr.58 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



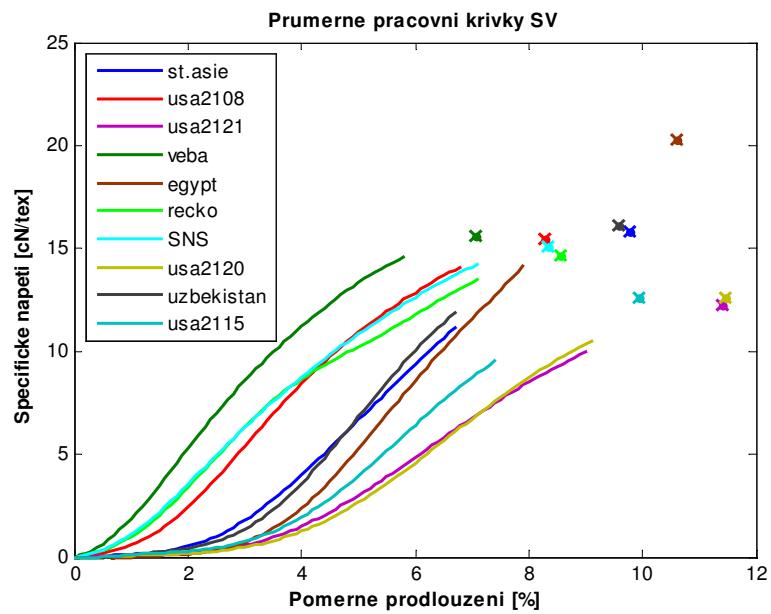
*Obr.59 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



*Obr.60 Graf průměrných tahových pracovních křivek*



Obr.61 Graf všech průměrných tahových křivek jednotlivých vláken



Obr.62 Graf všech průměrných tahových křivek svazků vláken